

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**FAKULTET STROJARSTVA I BRODORADNJE**

# **ZAVRŠNI RAD**

Mentor:

**prof. dr.sc. Predrag Ćosić**

**Franjo Piškulić**

**ZAGREB, 2010.**

## SADRŽAJ

|  |             |
|--|-------------|
| <b>ZADATAK ZAVRŠNOG RADA.....</b>                              | <b>I</b>    |
| <b>IZJAVA.....</b>   | <b>II</b>   |
| <b>ZAHVALA.....</b>  | <b>III</b>  |
| <b>SAŽETAK RADA.....</b>                                       | <b>IV</b>   |
| <b>POPIS KRATICA.....</b>                                      | <b>V</b>    |
| <b>POPIS SLIKA.....</b>  | <b>VI</b>   |
| <b>POPIS TABLICA.....</b>                                      | <b>VIII</b> |
| <br>   |             |
| 1. UVOD .....  | 1           |
| 2. OSNOVE GRUPNE TEHNOLOGIJE [1].....                          | 2           |
| 2.1. UVOD.....   | 2           |
| 2.2. STRUKTURE U NEAUTOMATIZIRANOJ IZRADBI .....               | 2           |
| 2.3. IZRADBENI SUSTAV STRUKTURIRAN PO VRSTI OBRADE .....       | 2           |
| 2.4. ZRADBENI SUSTAV STRUKTURIRAN PO PREDMETIMA RADA .....     | 3           |
| 2.5. SUSTAVI KLASIFIKACIJE I OZNAČAVANJA .....                 | 5           |
| 3. RAZRADA DEFINIRANIH 3D IZRADAKA I REPREZENTANTA GRUPE ..... | 6           |
| 3.1. UVOD.....   | 6           |
| 3.2. CLUSTER ANALIZA .....                                     | 6           |
| 3.3. GRUPA TOKARENJE 1 .....                                   | 8           |
| 3.4. GRUPA TOKARENJE 2 .....                                   | 9           |
| 3.5. GRUPA TOKARENJE 3 .....                                   | 10          |
| 3.6. GRUPA GLODANJE 1.....                                     | 11          |
| 3.7. GRUPA GLODANJE 2.....                                     | 12          |
| 3.8. GRUPA GLODANJE 3.....                                     | 13          |
| 4. OSNOVE CAM KONCEPTA .....                                   | 14          |
| 4.1. UVOD.....   | 14          |
| 4.2. PLANIRANJE PROCESA POMOCU RACUNALA – CAPP.....            | 15          |
| 5. RAZRADA TEHNOLOŠKOG PROCESA I VREMENA IZRADE CAM .....      | 18          |
| 5.1. GRUPA TOKARENJE 1 .....                                   | 18          |
| 5.2. GRUPA TOKARENJE 2 .....                                   | 19          |
| 5.3. GRUPA TOKARENJE 3 .....                                   | 20          |
| 5.4. GRUPA GLODANJE 1.....                                     | 21          |
| 5.5. GRUPA GLODANJE 2.....                                     | 22          |

|  |    |
|--|----|
| 5.6. GRUPA GLODANJE 3.....   | 23 |
| 6. PRIKAZ PLANT SIMULATION SOFTVERA.....   | 25 |
| 6.1. UVOD.....   | 25 |
| 6.2. IZRADA OSNOVNOG MODELA ZA SIMULACIJU PROIZVODNJE KREIRANIH GRUPA<br>PROIZVODA ..... | 25 |
| 7. RAZRADA KARAKTERISTIČNIH PROBLEMA I NAČINA RJEŠAVANJA U PROIZVODNJI.....              | 33 |
| 7.1. PREZAUZETOST KAPACITETA .....   | 33 |
| 7.2. USKO GRLO .....   | 40 |
| 7.3. SIMULACIJA KVARA.....   | 43 |
| 8. ZAKLJUČAK .....   | 47 |
| 9. LITERATURA.....   | 48 |

## **IZJAVA**

Izjavljujem pod moralnom, materijalnom i krivičnom odgovornošću da sam završni rad radio samostalno koristeći literaturu koju mi je dao mentor te koristeći literaturu koji sam i sam pronašao.

Prilikom izrade diplomskog rada koristio sam znanja i iskustva stečena tijekom studija.

---

(FranjoPiškulić)

## **ZAHVALA**

Zahvaljujem svim profesorima koji su mi tokom moga studija omogućili stjecanje znanja potrebnog za izradu završnog rada.

Najviše zahvaljujem prof. dr. Sc. Predragu Ćosiću, cijenjenom mentoru na davanju sadržajnih sugestija tokom izrade ovog rada.

## SAŽETAK RADA

Kao prvo je u radu dan uvod u osnove grupne tehnologije. Pokazano je kako efikasnost proizvodnoga sustava bitno ovisi o njegovoj prostornoj strukturi, jer ona izravno određuje sustav toka materijala koji se pak odražava na upravljivost proizvodnje, cikluse proizvodnje i iskorištenje sredstava za proizvodnju.

Zatim je prikazana razrada definiranih 3D izradaka. Kreirane su grupe proizvoda, te su iz tih grupa odabrani reprezentanti. Pokazano je da reprezentanti grupa imaju osobine svih pozicija koje se nalaze u grupi.

U sljedećem poglavlju objašnjene su osnove CAM koncepta. Računalom potpomognuta proizvodnja (CAM) je programski alat koji omogućuje proizvodnju fizičkih modela pomoću programa za računalom potpomognuto konstruiranje (CAD). CAM stvara stvarne verzije komponenti osmišljene unutar programskog paketa.

Razrađena su vremena izrade pojedine pozicije u svakoj od definiranih grupa proizvoda. U CAM programu su definirani svi parametri za izvođenje operacija, odabrani su alati, te su određeni režimi rada. Za svaku poziciju definirane su potrebne operacije i dato je vrijeme trajanje svake, kao i ukupno tehnološko vrijeme potrebno da bi se obradila svaka pozicija.

Glavni dio rada je prikaz primjene Plant Simulation softvera u proizvodnji. Najprije je objašnjeno kako je kreiran osnovni model simulacija koji je dalje korišten. To objašnjenje može koristiti kao pomoć novim korisnicima softvera pri izradi modela simulacija.

Plant Simulation korišten je za simulaciju različitih scenarija iz prakse. Prikazano je kako su pomoću softvera analizirani i riješeni neki od stvarnih problema koji se javljaju u proizvodnji. Iz primjera je jasno vidljivo koliko je provedba analiza jednostavna, te kako je lako uočiti problem.

## **POPIS KRATICA**

**PTP** – Projektiranje Tehnološkog Procesa

**CAPP** – Computer Aided Process Planing / Računalom Podržano Planiranje Procesa

**CAD** – Computer Aided Design / Računalom Podržano Konstruiranje

**CAM** – Computer Aided Manufacturing / Računalom Podržana Proizvodnja

**MU** – Moving Unit

## POPIS SLIKA

|   |    |
|---|----|
| Slika 3.1. Reprezentant t1 .....  | 8  |
| Slika 3.2. Pozicija grupe tokarenja 1 .....   | 8  |
| Slika 3.3. Reprezentant t2 .....  | 9  |
| Slika 3.4. Pozicije grupe tokarenja 2 .....   | 9  |
| Slika 3.5. Reprezentant t3 .....  | 10 |
| Slika 3.6. Pozicije grupe tokarenja 3 .....   | 10 |
| Slika 3.7. Reprezentant g1 .....  | 11 |
| Slika 3.8. Pozicije grupe glodanje 1 .....  | 11 |
| Slika 3.9. Reprezentant g2 .....  | 12 |
| Slika 3.10. Pozicije grupe glodanje 2 .....   | 12 |
| Slika 3.11. Reprezentant g3 .....   | 13 |
| Slika 3.12. Pozicije grupe glodanje 3 .....   | 13 |
| Slika 4.1. CAD-CAAPP-CAM .....  | 14 |
| Slika 6.1. Objekt ulaznog skladišta .....   | 25 |
| Slika 6.2. Objekti obradnih strojeva .....  | 26 |
| Slika 6.3. Definiranje vremena trajanja operacije vgt (37 sekundi) .....                  | 26 |
| Slika 6.4. Objekt izlaznog skladišta .....  | 27 |
| Slika 6.5. Objekti kontrole toka .....  | 27 |
| Slika 6.6. Prikaz toka materijala unutar pogona .....                                     | 28 |
| Slika 6.7. Kreirani MUs .....   | 28 |
| Slika 6.8. Objekti Method dodani u simulaciju .....                                       | 29 |
| Slika 6.9. Tekst koda unutar metode odluka1 .....   | 29 |
| Slika 6.10. Povezivanje objekta FlowControl i objekta Method .....                        | 30 |
| Slika 6.11. Objekt ulazna tablica pridodan simulaciji .....                               | 30 |
| Slika 6.12. Primjer popunjene ulazne tablice .....  | 31 |
| Slika 6.13. Objekt EventController pridodan simulaciji .....                              | 31 |
| Slika 6.14. Primjer određenog vremena trajanja simulacije od jedan dan .....              | 32 |
| Slika 6.15. Prikaz modela simulacije u 3D .....   | 32 |
| Slika 7.1. Gantogram redoslijeda ulazka pojedine vrste pozicije u proizvodni proces ..... | 33 |
| Slika 7.2. Model simulacije zadanim redosljedom izvođene obrade .....                     | 34 |
| Slika 7.3. Graf zaokupljenosti strojeva u vrijeme izrade pozicije g3 .....                | 34 |
| Slika 7.4. Graf zaokupljenosti strojeva u vrijeme izrade pozicije g31 .....               | 35 |
| Slika 7.5. Graf zaokupljenosti strojeva u vrijeme izrade pozicije g32 .....               | 35 |
| Slika 7.6. Graf zaokupljenosti strojeva u vrijeme izrade pozicije g33 .....               | 36 |



|   |    |
|---|----|
| Slika 7.7. Graf zaokupljenosti strojeva u vrijeme izrade pozicije g34.....            | 36 |
| Slika 7.8. Graf zaokupljenosti strojeva u vrijeme izrade pozicije g35.....            | 37 |
| Slika 7.9. Graf zaokupljenosti strojeva u vrijeme izrade cijele narudžbe .....        | 37 |
| Slika 7.10. Gantogram rada pojedinog stroja .....                                     | 37 |
| Slika 7.11. Ukupno vrijeme simulacije i ukupni broj obrađenih pozicija.....           | 38 |
| Slika 7.12. Model simulacije ciklusnim redoslijedom izvođene obrade.....              | 38 |
| Slika 7.13. Graf zaokupljenosti strojeva u vrijeme izrade cijele narudžbe .....       | 39 |
| Slika 7.14. Gantogram rada pojedinog stroja .....                                     | 39 |
| Slika 7.15. Ukupno vrijeme simulacije i ukupni broj obrađenih pozicija.....           | 39 |
| Slika 7.16. Model simulacije koji ce nam poslužiti za primjer uskog grla.....         | 40 |
| Slika 7.17. BottleneckAnalyzer .....  | 40 |
| Slika 7.18. Primjena objekta BottleneckAnalyzer .....                                 | 41 |
| Slika 7.19. Gantogram pokazuje okupiranost pojedinog stroja u zadanom vremenu.....    | 41 |
| Slika 7.20. Ukupna količina pozicija i količina pojedine pozicije .....               | 41 |
| Slika 7.21. Vrijeme trajanja modela simulacije .....                                  | 41 |
| Slika 7.22. Model simulacije s dva vgt stroja i BottleneckAnalyzer .....              | 42 |
| Slika 7.23. Gantogram sa dva stroja za vanjsko grubo tokarenje .....                  | 42 |
| Slika 7.24. Ukupna količina pozicija i količina pojedine pozicije .....               | 42 |
| Slika 7.25. Vrijeme trajanja modela simulacije .....                                  | 42 |
| Slika 7.25. Model simulacije za primjer utjecaja kvara .....                          | 43 |
| Slika 7.26. Tablica redoslijeda obrade vrste pozicija i zadane količine pozicija..... | 43 |
| Slika 7.27. Dostupnost i MTTR definirano je jednako za sve strojeve.....              | 44 |
| Slika 7.28. Vrijem trajanja simulacije.....   | 44 |
| Slika 7.29. Graf stanja strojeva.....   | 45 |
| Slika 7.30. Gantogram.....  | 45 |
| Slika 7.31. Dostupnost stroja za glodanje stavljamo na 90%.....                       | 46 |
| Slika 7.32. Vrijeme trajanja simulacije sa novim postavkama .....                     | 46 |

## POPIS TABLICA

|  |    |
|--|----|
| Tablica 3.1. Binarna matrica .....   | 6  |
| Tablica 3.2. Izračun mjera kompaktnosti grupe t3.....                              | 7  |
| Tablica 3.3. Izračun mjera kompaktnosti grupe g3 .....                             | 7  |
| Tablica 5.1. Prikaz vremena obrade pojedinih pozicija grupe tokarenje 1 .....      | 19 |
| Tablica 5.2. Prikaz vremena obrade pojedinih pozicija grupe tokarenje 2 .....      | 20 |
| Tablica 5.3. Prikaz vremena obrade pojedinih pozicija grupe tokarenje 3 .....      | 21 |
| Tablica 5.4. Prikaz vremena obrade pojedinih pozicija grupe glodanje 1 .....       | 22 |
| Tablica 5.5. Prikaz vremena obrade pojedinih pozicija grupe glodanje 2 .....       | 23 |
| Tablica 5.6. Prikaz vremena obrade pojedinih pozicija grupe glodanje 3 .....       | 24 |
| Tablica 7.1. Vremena izvođenja operacija i zadana količina pojedine pozicije ..... | 33 |

# 1. UVOD

Danas je fleksibilnost i brzina prilagodbe novim uvjetima jedna od bitnijih karakteristika poduzeća koje se bavi proizvodnjom. Razvoj novih tehnologija i globalizacija omogućila je kupcima da lakše biraju između više proizvođača. Potrebno je uložiti više napora da bi ostali konkurentni na tržištu. Potencijalni kupci zahtijevaju brze odgovore na poslanu ponudu. Žele čim prije saznati cijenu izrade i vrijeme kad će proizvod biti spreman za isporuku. Jasno je da žele da cijena bude što niža, a isporuka čim prije.

Da bi se mogla odrediti cijena proizvoda potrebno je znati vrijeme trajanja proizvodnje, kao i svu opremu i resurse koji su uključeni u proizvodnju. Tom problematikom se bavi stručno područje zvano projektiranje tehnoloških procesa (PTP). Projektiranje tehnoloških procesa koristimo da skratimo ukupno vrijeme izrade, smanjimo troškove izrade, skratimo ciklus proizvodnje i uhodavanje proizvodnje, da imamo fleksibilnu proizvodnju i osvojimo novo tržište.

Koriste se razni softverski alati koji pomažu inženjerima u izradi prototipa proizvoda te kod definiranja režima strojne obrade. To su stručna područja Brza izrada prototipova (RP) i Računalno podržana proizvodnja (CAM). Primarna svrha CAM je stvoriti brži proizvodni proces i omogućiti strojnu obradu s preciznijim dimenzijama. Također je cilj koristiti samo potrebnu količinu sirovine, dok je istovremeno smanjenjena potrošnja energije. U ovome radu je korišten CAM softver unutar Catia softverskog paketa.

Niži troškovi proizvodnje se također postižu grupiranjem sličnih proizvoda. Proizvodi koji čine jednu grupu obrađuju se na sličan način. Zanjihovu izradu su potrebni isti alati, strojevi i režimi obrade, a nekad su potreben i iste operacije što ovisi o kreiranoj grupi.

Postizanje višeg stupnja organizacije proizvodnje nalaže prostorno grupiranje elementa sustava. Skupine elemenata zasebno, i sve zajedno, tvore određenu, jedinstvenu strukturu proizvodnoga sustava. Pod strukturiranjem proizvodnoga sustava razumijeva se aktivnost kojoj je cilj najekonomičnije povezivanje i usklađivanje konstituirajućih elemenata sustava u prostornome i vremenskome pogledu.[1]

U današnje vrijeme se za optimiranje proizvodnog sistema i procesa, toka materijala i logističkih operacija koriste razni softveri. U ovom radu je korišten softver Plant Simulation. Korisnici Plant Simulation aplikacije mogu optimizirati tok materijala i iskoristivosti resursa na svim nivoima tvornice, od globalnih proizvodnih postrojenja, preko lokalnih tvornica, do pojedinih proizvodnih linija.

U radu je pokazano kako se primjenom suvremenih softvera rješavaju neki od stvarnih problema koji se javljaju u proizvodnji.

## **2. OSNOVE GRUPNE TEHNOLOGIJE [1]**

### **2.1. UVOD**

Postizanje višeg stupnja organizacije proizvodnje nalaže prostorno grupiranje elementa sustava. Skupine elemenata zasebno, i sve zajedno, tvore određenu, jedinstvenu strukturu proizvodnoga sustava. Pod strukturiranjem proizvodnoga sustava razumijeva se aktivnost kojoj je cilj najekonomičnije povezivanje i usklađivanje konstituirajućih elemenata sustava u prostornome i vremenskome pogledu. Očigledno je da struktura i funkcija sustava uvjetuju jedna drugu i da se za neku unaprijed zadanu funkciju može definirati više različitih struktura. Na izbor strukture utječe niz činilaca, od kojih najveći utjecaj imaju proizvodni program i tehnologija (Dakle: asortiman i količine proizvoda, stupanj konstrukcijske i tehnološke sličnosti proizvoda, oblik, dimenzije i tolerancije, brzina promjena proizvoda, tržišni vijek itd.). Efikasnost proizvodnoga sustava bitno ovisi o njegovoj prostornoj strukturi, jer ona izravno određuje sustav toka materijala koji se pak odražava na upravljivost proizvodnje, cikluse proizvodnje i iskorištenje sredstava za proizvodnju. [1]

U osnovi, postoje izradbeni sustavi kod kojih: predmeti rada miruju, a ljudi i ostali elementi sustava se kreću, ili, predmeti rada se kreću, a elementi i ljudi su stacionirani na svojim radnim mjestima. Stacionarni se predmeti rada mogu naći pretežno u proizvodnji velikih objekata, kao što su brodovi, lokomotive, avioni i slično. Daleko je češći slučaj da se predmeti rada kreću sustavom.

Oblici proizvodnih struktura razlikuju se u izradbi i montaži, te prema stupnju automatizacije.

### **2.2. STRUKTURE U NEAUTOMATIZIRANOJ IZRADBI**

Proizvodne strukture klasičnih izradbenih sustava definiraju se po načelu funkcije ili po predmetnom načelu. Po načelu funkcije, skupine tvore elementi iste vrste obrade, za izvođenje operacija na različitim predmetima rada. Po predmetnom se načelu elementi grupiraju za izvođenje različitih vrsta obrade u cilju potpune ili gotovo potpune obrade jednog ili više sličnih premeta rada. Strukture tako mogu biti: po vrsti obrade, ili, po predmetu rada (izradbene linije, izradbene stanice i samostalna radna mjesta potpune izradbe).

### **2.3. IZRADBENI SUSTAV STRUKTURIRAN PO VRSTI OBRAD**

Karakteristika je izradbenih sustava strukturiranih po vrsti obrade (funkcionalna ili procesna struktura) grupiranje sredstava za proizvodnju u skladu s tipom izradbenoga postupka. To znači da će grupa strojeva za tokarenje tvoriti jedan zaseban odjel, glodalice drugi, bušilice treći itd. Tok će se materijala stoga odvijati uglavnom između odjela, a rijetko unutar odjela između strojeva slične namjene.

## **2.4. IZRADBENI SUSTAV STRUKTURIRAN PO PREDMETIMA RADA**

Potreba prevladavanja nedostataka podjele sustava po vrsti obrade, potakla je razvoj izradbenih sustava strukturiranih po predmetu rada. Isprva su to bile izradbene linije namijenjene masovnoj i velikoserijskoj proizvodnji, dok su se tek kasnije pojavili sustavi skupne izradbe slijedeći koncept skupne proizvodnje (tehnologije).

### **2.4.1. IZRADBENE LINIJE**

Izradbene su linije orijentirane na konkretan proizvod, a njihova struktura uključuje različite specijalizirane strojeve, linijski raspoređene po zahtjevima tehnološkoga procesa (redoslijedu operacija) određenog predmeta rada.

Počele su se primjenjivati razvojem Taylorovoga koncepta podjele rada, rezultirajući izrazito niskim udjelom pripremna vremena zbog visokog stupnja specijalizacije i determiniranosti rada. Jednostavnim jednosmjernim tokom materijala s kratkim transportnim udaljenostima, kao i bez posebnih poremećaja, izradbene linije postižu visoku efikasnost proizvodnje s kratkim ciklusima izradbe.

Vremena potrebna za obavljanje operacija na pojedinim radnim mjestima moraju biti međusobno ujednačena i po mogućnosti jednaka taktu linije, da se izbjegne pojava neproizvodnih vremena čekanja.

Takt linije predstavlja raspoloživo vrijeme za obradu na pojedinom radnom mjestu, a može se proračunati iz odnosa raspoloživoga vremena za proizvodnju i traženoga broja proizvoda u određenom planskome razdoblju. To je ujedno zbroj vremena izvršenja najduže operacije i vremena međuoperacijskog transporta.

#### **PREDNOST**

- jednostavan, jednosmjernan i direktni tok materijala
- mala nedovršena proizvodnja
- visoka produktivnost
- jednostavno planiranje, vođenje i praćenje procesa
- malo rukovanja materijalom
- niski nivo znanja i sposobnosti
- uporaba specijalne opreme

#### **OGRANIČENJA**

- osjetljivost na zastoje
- nefleksibilnost sustava
- nemotiviranost osoblja
- velika investicijska sredstva
- najduža operacija determinira izlaz

### **2.4.2. IZRADBENE STANICE**

U izradbenoj su stanici grupirani elementi (klasični ili numerički upravljani strojevi) u skladu s izradbenim procesom skupine tehnološki sličnih predmeta rada. Unutarnja je struktura stanice slična podjeli po vrsti obrade, posjedujući fleksibilnost takve strukture, ali s

prostornim rasporedom koji najbolje odgovara toku materijala izradbenoga procesa za definiranu grupu proizvoda. Stoga izradbeni sustav, sastavljen od izradbenih stanica, posjeduje efikasnost linija, a djelomice i fleksibilnost sustava strukturiranih po vrsti obrade.

Ovakva struktura doprinosi i humanizaciji rada, budući da omogućava radnicima uvid u cjelokupni proizvodni proces, odnosno krajnji rezultat i svrhu svojega rada. Stoga radnici mogu obavljati i dio organizacijskih poslova što se odražava na povećanje motivacije i postizanje boljih radnih rezultata.

#### *PREDNOST*

- mali udio pripremno-završnog vremena
- velika preglednost procesa
- jednostavno planiranje, vođenje i praćenje izradbe
- osigurani uvjeti za timski rad
- proširenje rada
- dobro iskorištenje strojeva
- povećanje kvalitete izradaka
- kratke transportne udaljenosti

#### *OGRANIČENJA*

- visoki nivo znanja i sposobnosti zaposlenih
- neujednačenost opterećenja po stanicama
- nužno je ujednačavanje tokova u svakoj stanici
- manja uporaba specijalne opreme
- potreban polivalentni poslovođa

Strukturiranjem sustava na izradbene stanice dobiva se podjela na manje podsustave pri čemu se značajno pojednostavnjuje sustav toka materijala, a time i planiranje te upravljanje proizvodnjom. Posebno su stoga prikladne za primjenu koncepta skupne tehnologije i automatizaciju proizvodnje.

Izradbene stanice mogu biti potpuno samostalne, što znači da u cijelosti mogu obraditi grupu sličnih proizvoda od početka do kraja. Tada se između stanica u sustavu neće javljati tok materijala, već će se on odvijati uglavnom samo sa skladištima. Ako je za danu grupu proizvoda i proizvodne količine opterećenje nekih, poglavito skupih, sredstava za proizvodnju slabo, iz ekonomskih razloga nije isplativo osigurati takve kapacitete, već ih treba, ako je moguće, dijeliti s nekom drugom stanicom. Izradbene stanice koje dijele elemente s drugim stanicama nazivaju se djelomično samostalne te uzrokuju međusobni tok materijala.

Strukturiranjem sustava na izradbene stanice dobiva se podjela na manje podsustave pri čemu se značajno pojednostavnjuje sustav toka materijala, a time i planiranje te upravljanje proizvodnjom. Posebno su stoga prikladne za primjenu koncepta skupne tehnologije i automatizaciju proizvodnje.

## 2.5. SUSTAVI KLASIFIKACIJE I OZNAČAVANJA

Sustavi su klasifikacije i označavanja sredstvo za opisivanje objekata. Objektima klasifikacije dodjeljuju se oznake, prema unaprijed određenim parametrima i definiranim pravilima. Oznake mogu biti bročane, slovne ili kombinacija brojeva i slova. [1]

Smisao je označavanja u tome, da su označene informacije kod istoga sadržaja bitno kraće od opisa riječima i da je lakša računalna obrada podataka. Najvažnija zadaća kod svake klasifikacije jest izbor odgovarajućih parametara. On ovisi o obilježjima objekata i ciljevima koji se žele postići klasifikacijom.

Analizom parametara pronalaze se sličnosti između objekata te se objekti razvrstavaju u skupine prema sličnosti. Identični objekti imaju istu oznaku. Klasifikacijski sustavi se dijele na krute i fleksibilne. [1]

Kod krutih klasifikacijskih sustava sve informacije sustava su definirane i nepromjenjive. Naprimjer, oznaka ima devet znakova, a prvi znak predstavlja odnos dužine i promjera za okrugle dijelove, odnosno odnos glavnih dimenzija za kutijaste dijelove, dok sedmi znak označuje materijal dijela.

Fleksibilni klasifikacijski sustavi dopuštaju korisnicima, da u određenim granicama, prema njihovim potrebama i željama, odrede parametre i njihove attribute. Uz "fleksibilni dio" ovi sustavi najčešće imaju i "univerzalni dio" s određenim brojem parametara koji su obvezni za sve korisnike.

Prema strukturi oznake (odnosu jednog znaka prema nekom drugom znaku), klasifikacijski sustavi se dijele na hijerarhijske, nehijerarhijske i kombinirane. Parametri u klasifikacijskim sustavima mogu biti kvalitativni i kvantitativni.

Kvalitativni parametri na jednom objektu se mogu pojaviti u jednoj ili više varijanti. Parametri s jednom varijantom pojavljivanja su naprimjer oblik i materijal, a s više varijanti kvaliteta površine, točnost izrade i slično.

Kvantitativni parametri se izražavaju brojčanim veličinama, naprimjer dimenzije objekta, veličina serije, vrijeme obrade, veličina dozvoljenog odstupanja i slično.

Klasifikacija se najčešće provodi u interaktivnom radu s računalom, pri čemu se na ekranu pojavljuju pitanja na koje se odgovara s da, ne ili s numeričkim podacima. Tim odgovornima indirektno se vrši klasifikacija. Broj pitanja direktno zavisi o kompleksnosti objekta i željenog stupnja detaljnosti klasifikacije. U svijetu je razvijen čitav niz softvera za klasifikaciju i označavanje. Neki su od njih: MICLASS (TNO, NL), CODE (Mfg. Data Systems, USA), PARTS ANALOG..... [1]

### 3. RAZRADA DEFINIRANIH 3D IZRADAKA I REPREZENTANTA GRUPE

#### 3.1. UVOD

Kreirano je šest grupa i odabrani su njihovi reprezentanti. Svrha izrade ovih grupa izradaka je stvaranje podloga koje će poslužiti za simulaciju različitih scenarija u praksi balansiranjem kapaciteta. Za izradu grupa korištena je cluster analiza. Cluster analiza se koristi za oblikovanje skupina tehnološki sličnih dijelova i njima odgovarajućih skupina elemenata sustava. Reprezentanti grupa izabani su s obzirom na njihovu složenost, odnosno na reprezentantu se izvode sve operacije koje se izvode na ostalim dijelovima iz grupe.

#### 3.2. CLUSTER ANALIZA

Da bi proveli cluster analizu treba imati skup dijelova i skup strojeva na kojima se dijelovi obrađuju. Ovdje je prikazana primjena cluster analize na grupe tokarenje 3 i glodanje 3.

##### 3.2.1. POSTUPAK CLUSTER ANALIZE

Naprije se kreira binarna matrica. U binarnoj matrici je prikazano koje su operacije potrebne za određeni dio.

Tablica 3.1. Binarna matrica

| DIO/STROJEVI | V. G<br>TOK | BU 1 | U. TOK | V. F.<br>TOK | GLO 1 | GLO<br>SKO | BU 2 | GLO 2 |
|--------------|-------------|------|--------|--------------|-------|------------|------|-------|
| t3           | 1           | 1    | 1      | 1            | 0     | 0          | 0    | 0     |
| t31          | 1           | 1    | 0      | 1            | 0     | 0          | 0    | 0     |
| t32          | 1           | 0    | 0      | 1            | 0     | 0          | 0    | 0     |
| t33          | 0           | 1    | 1      | 0            | 0     | 0          | 0    | 0     |
| t34          | 0           | 1    | 0      | 0            | 0     | 0          | 0    | 0     |
| g3           | 0           | 0    | 0      | 0            | 1     | 1          | 1    | 1     |
| g31          | 0           | 0    | 0      | 0            | 1     | 0          | 0    | 0     |
| g32          | 0           | 0    | 0      | 0            | 1     | 1          | 0    | 0     |
| g33          | 0           | 0    | 0      | 0            | 1     | 1          | 1    | 0     |
| g34          | 0           | 0    | 0      | 0            | 0     | 0          | 1    | 0     |
| g35          | 0           | 0    | 0      | 0            | 0     | 0          | 1    | 1     |

Zatim je potrebno podijeliti dijelove u skupine. Permutiranjem redaka i stupaca nastoji se oformiti blok dijagonalnu matricu, ako je to moguće. Nakon što se odrede grupe, izračunavaju funkcija cilja i mjere kompaktnosti grupa dijelova. Za svaku skupinu dijelova kreira se posebna tablica.



Tablica 3.2. Izračun mjera kompaktnosti grupe t3

|                       | DIO/STROJEVI    | V. G<br>TOK | BU 1 | U.<br>TOK | V. F.<br>TOK | GLO 1 | GLO<br>SKO | BU 2 | GLO<br>2 |
|-----------------------|-----------------|-------------|------|-----------|--------------|-------|------------|------|----------|
|                       | t3              | 1           | 1    | 1         | 1            | 0     | 0          | 0    | 0        |
|                       | t31             | 1           | 1    | 0         | 1            | 0     | 0          | 0    | 0        |
|                       | t32             | 1           | 0    | 0         | 1            | 0     | 0          | 0    | 0        |
|                       | t33             | 0           | 1    | 1         | 0            | 0     | 0          | 0    | 0        |
|                       | t34             | 0           | 1    | 0         | 0            | 0     | 0          | 0    | 0        |
|                       | $\sum x_{ij}$   | 3           | 4    | 2         | 3            | 0     | 0          | 0    | 0        |
| $\overline{X_{1j}}$   |                 | 0,6         | 0,5  | 0,4       | 0,6          | 0     | 0          | 0    | 0        |
| $(x_{ij} - x_{1j})^2$ | t3              | 0,16        | 0,25 | 0,36      | 0,16         | 0     | 0          | 0    | 0        |
| $(x_{ij} - x_{1j})^2$ | t31             | 0,16        | 0,25 | 0,16      | 0,16         | 0     | 0          | 0    | 0        |
| $(x_{ij} - x_{1j})^2$ | t32             | 0,16        | 0,25 | 0,16      | 0,16         | 0     | 0          | 0    | 0        |
| $(x_{ij} - x_{1j})^2$ | t33             | 0,36        | 0,25 | 0,36      | 0,36         | 0     | 0          | 0    | 0        |
| $(x_{ij} - x_{1j})^2$ | t34             | 0,36        | 0,25 | 0,16      | 0,36         | 0     | 0          | 0    | 0        |
|                       | O1 <sub>i</sub> | 1,2         | 1,25 | 1,2       | 1,2          | 0     | 0          | 0    | 0        |
|                       | O1              | 4,85        |      |           |              |       |            |      |          |

Tablica 3.3. Izračun mjera kompaktnosti grupe g3

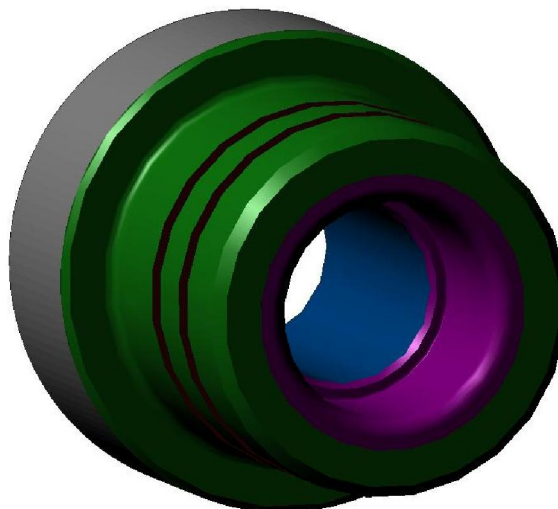
|                       | DIO/STROJEVI    | V. G<br>TOK | BU 1 | U.<br>TOK | V. F.<br>TOK | GLO 1 | GLO<br>SKO | BU 2 | GLO<br>2 |
|-----------------------|-----------------|-------------|------|-----------|--------------|-------|------------|------|----------|
|                       | g3              | 0           | 0    | 0         | 0            | 1     | 1          | 1    | 1        |
|                       | g31             | 0           | 0    | 0         | 0            | 1     | 0          | 0    | 0        |
|                       | g32             | 0           | 0    | 0         | 0            | 1     | 1          | 0    | 0        |
|                       | g33             | 0           | 0    | 0         | 0            | 1     | 1          | 1    | 0        |
|                       | g34             | 0           | 0    | 0         | 0            | 0     | 0          | 1    | 0        |
|                       | g35             | 0           | 0    | 0         | 0            | 0     | 0          | 1    | 1        |
|                       | $\sum x_{ij}$   | 0           | 0    | 0         | 0            | 4,00  | 3,00       | 4,00 | 2,00     |
| $\overline{X_{1j}}$   |                 | 0           | 0    | 0         | 0            | 0,67  | 0,50       | 0,67 | 0,33     |
| $(x_{ij} - x_{1j})^2$ | g3              | 0           | 0    | 0         | 0            | 0,11  | 0,25       | 0,11 | 0,45     |
| $(x_{ij} - x_{1j})^2$ | g31             | 0           | 0    | 0         | 0            | 0,11  | 0,25       | 0,45 | 0,11     |
| $(x_{ij} - x_{1j})^2$ | g32             | 0           | 0    | 0         | 0            | 0,11  | 0,25       | 0,45 | 0,11     |
| $(x_{ij} - x_{1j})^2$ | g33             | 0           | 0    | 0         | 0            | 0,11  | 0,25       | 0,11 | 0,11     |
| $(x_{ij} - x_{1j})^2$ | g34             | 0           | 0    | 0         | 0            | 0,45  | 0,25       | 0,11 | 0,11     |
|                       | g35             | 0           | 0    | 0         | 0            | 0,45  | 0,25       | 0,11 | 0,45     |
|                       | O2 <sub>i</sub> | 0           | 0    | 0         | 0            | 1,34  | 1,50       | 1,34 | 1,34     |
|                       | O2              | 5,52        |      |           |              |       |            |      |          |

Kao rezultat izračuna mjera kompaktnosti smo dobili veličine O1 i O2. Veličine O1 i O2 su mjere homogenosti kreiranih grupa. Manja mjera O znači da je skupina homogenija. Iz primjera u tablicama 3.2. i 3.3. se vidi da je vrijednost O1 manja od vrijednosti O2, to znači da je prva grupa homogenija od druge grupe.

### 3.3. GRUPA TOKARENJE 1

Materijal od kojeg su rađene pozicije grupe tokarenje 1 je AlMgSi 05.

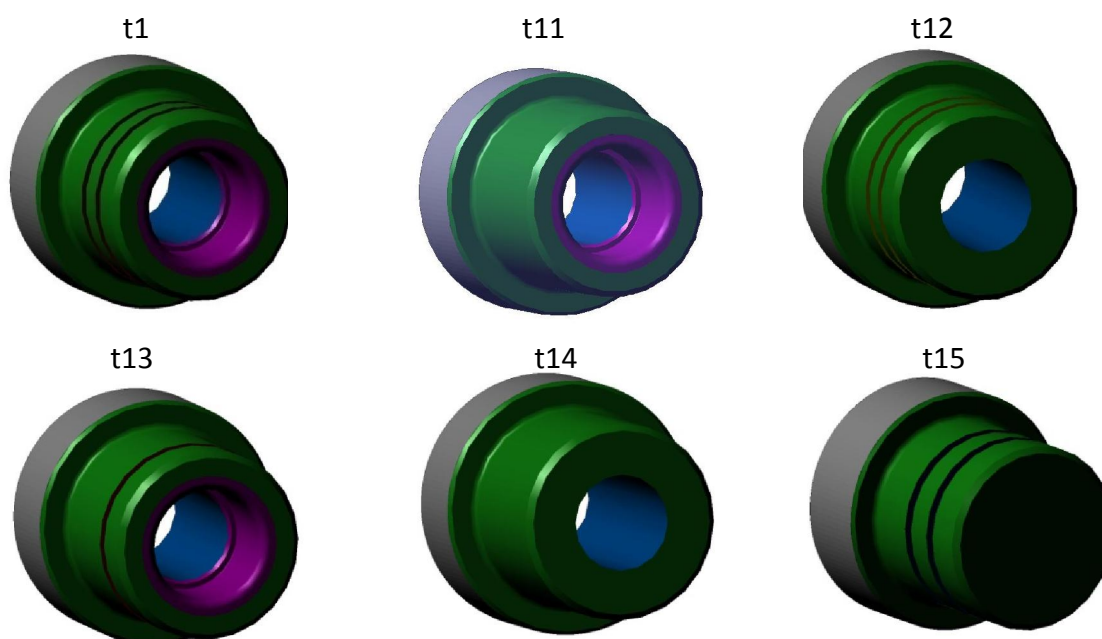
*REPREZENTANT t1*



Slika 3.1. Reprezentant t1

Na reprezentantu t1 trebaju biti obavljene sljedeće operacije:

- vanjsko grubo tokarenje
- bušenje
- unutarnje tokarenje
- vanjsko fino tokarenje utor 1
- vanjsko fino tokarenje utor 2

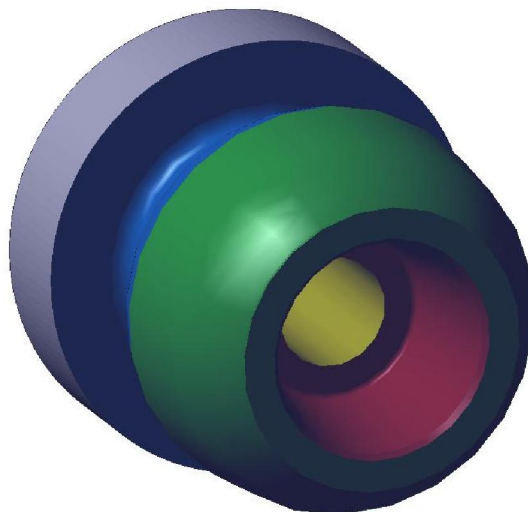


Slika 3.2. Pozicija grupe tokarenja 1

### 3.4. GRUPA TOKARENJE 2

Materijal od kojeg su rađene pozicije grupe tokarenje 2 je AlMgSi 05.

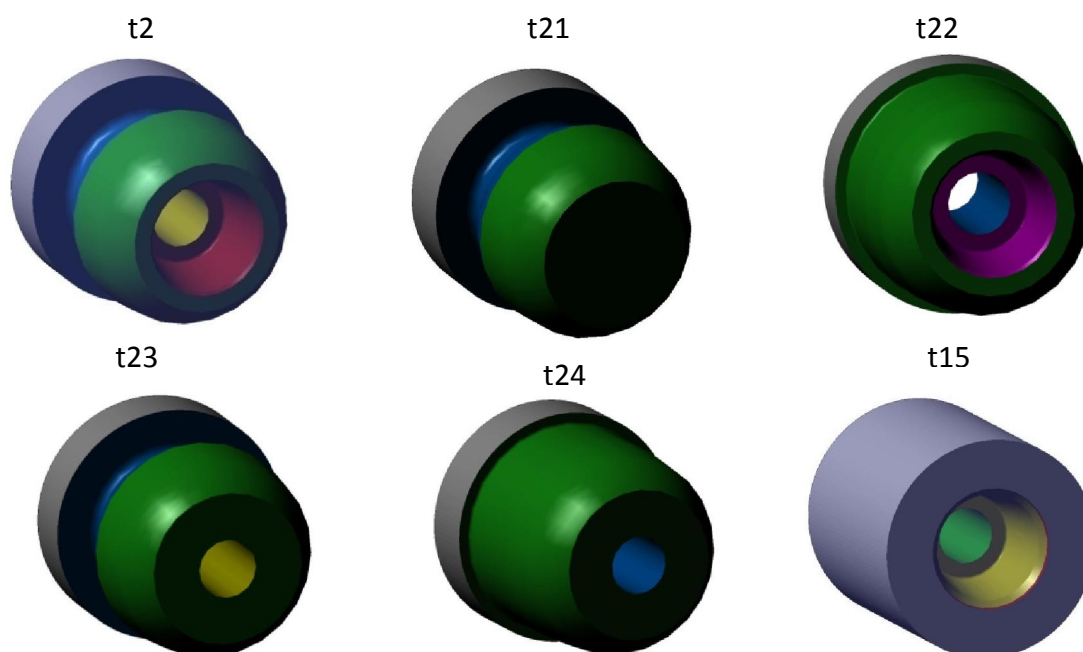
*REPREZENTANT t2*



Slika 3.3. Reprezentant t2

Na reprezentantu t2 trebaju biti obavljene sljedeće operacije:

- poravnavanje i vanjsko tokarenje
- vanjsko grubo tokarenje
- obrada provrta
- unutarnje tokarenje
- vanjsko fino tokarenje

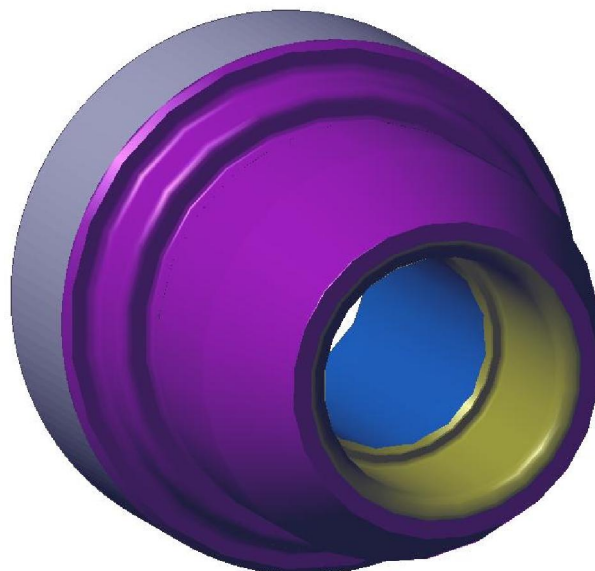


Slika 3.4. Pozicije grupe tokarenja 2

### 3.5. GRUPA TOKARENJE 3

Materijal od kojeg su rađene pozicije grupe tokarenje 3 je AlMgSi 05.

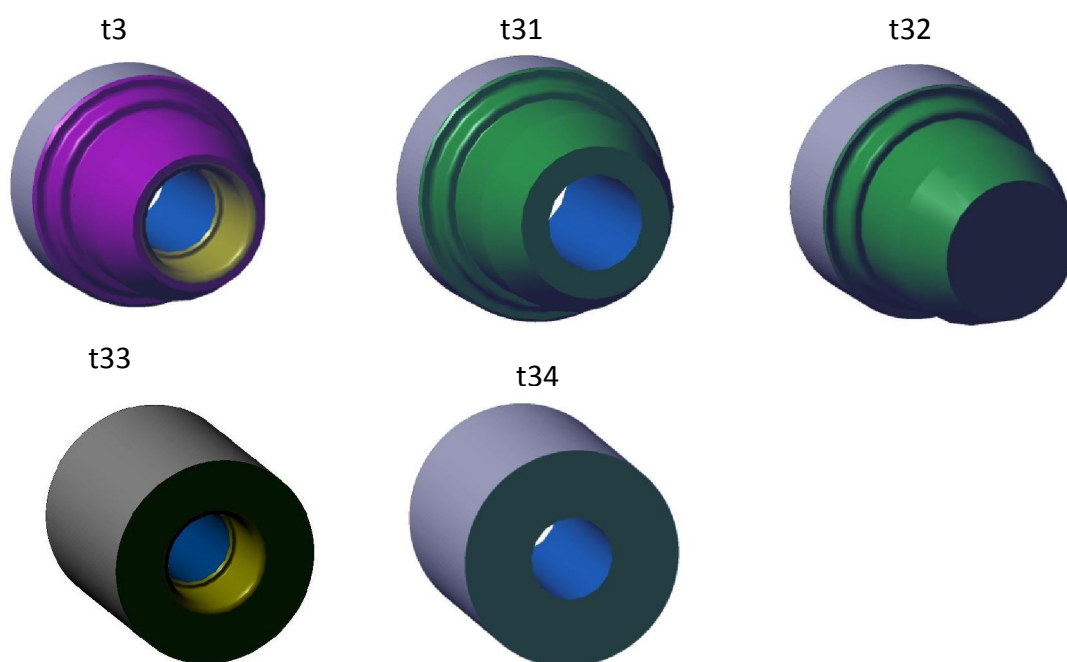
*REPREZENTANT t3*



Slika 3.5. Reprezentant t3

Na reprezentantu t3 trebaju biti obavljene sljedeće operacije:

- vanjsko grubo tokarenje
- bušenje
- unutarnje tokarenje
- vanjsko fino tokarenje

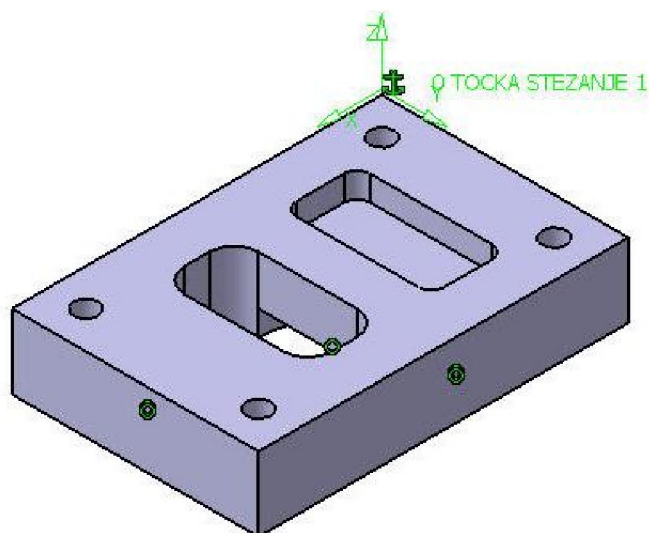


Slika 3.6. Pozicije grupe tokarenja 3

### 3.6. GRUPA GLODANJE 1

Materijal od kojeg su rađene pozicije grupe glodanje 1 je SL 05.

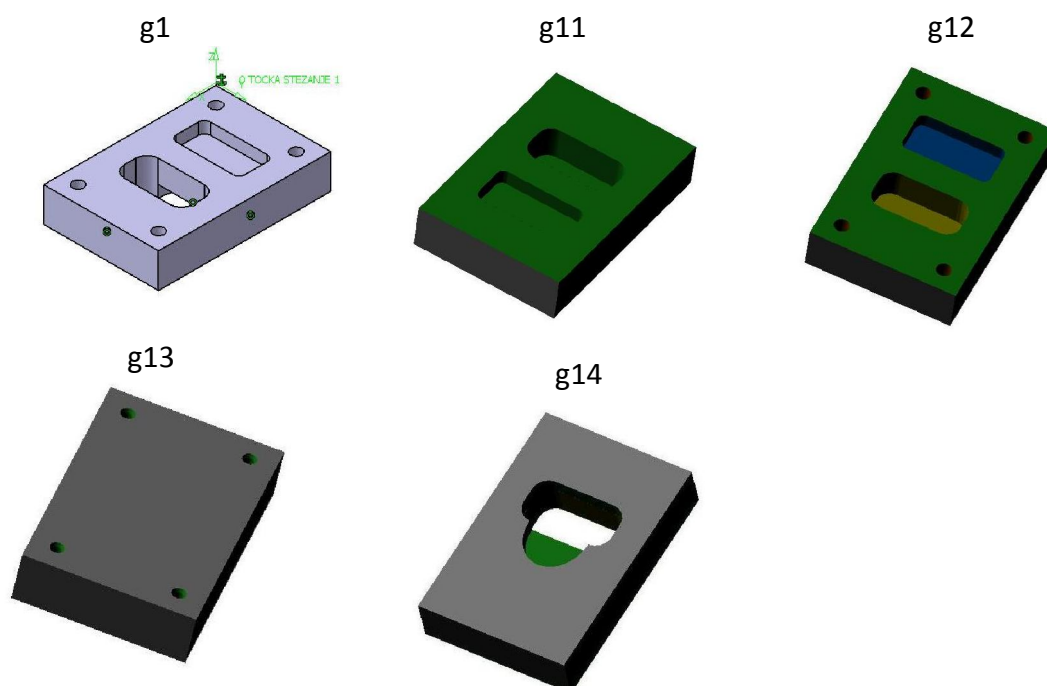
REPREZENTANT g1



Slika 3.7. Reprezentant g1

Na reprezentantu g1 trebaju biti obavljene sljedeće operacije:

- glodanje 1
- bušenje
- glodanje 2



Slika 3.8. Pozicije grupe glodanje 1

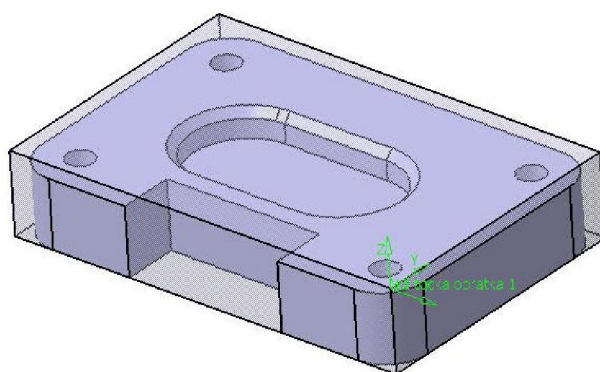
### 3.7. GRUPA GLODANJE 2

Materijal od kojeg su rađene pozicije grupe glodanje 2 je SL 05.

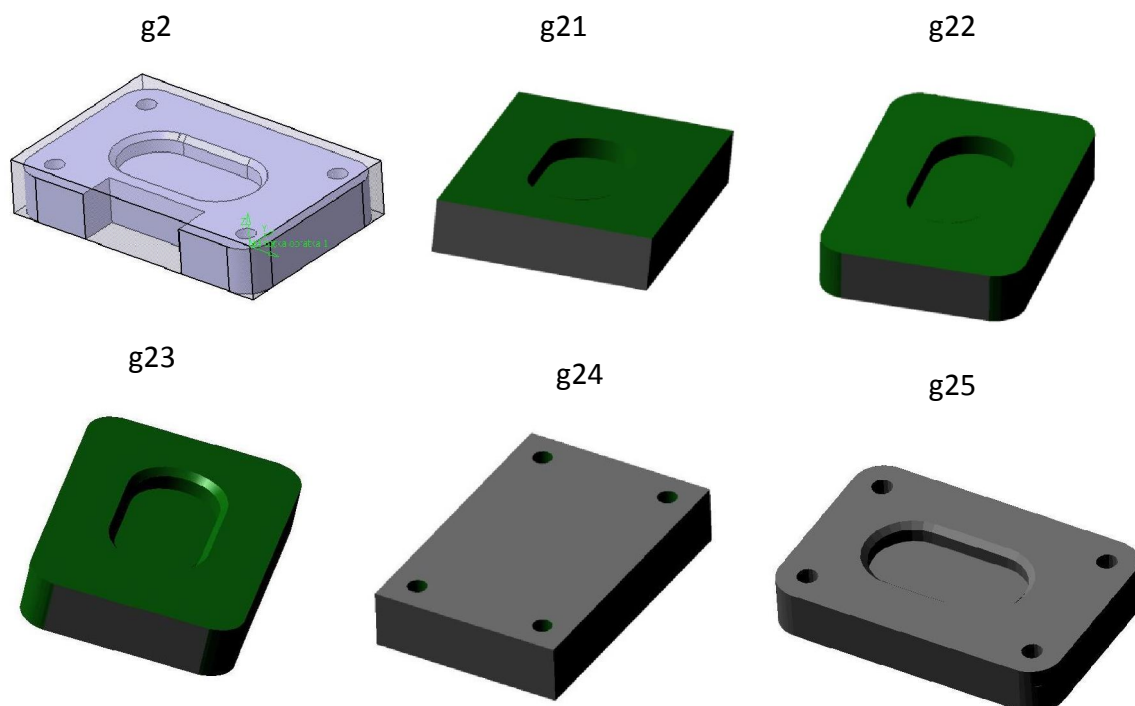
Na reprezentantu g2 trebaju biti obavljene sljedeće operacije:

- glodanje 1
- glodanje zaobljenja
- glodanje skošenja
- bušenje
- glodanje 2

REPREZENTANT g2



Slika 3.9. Reprezentant g2

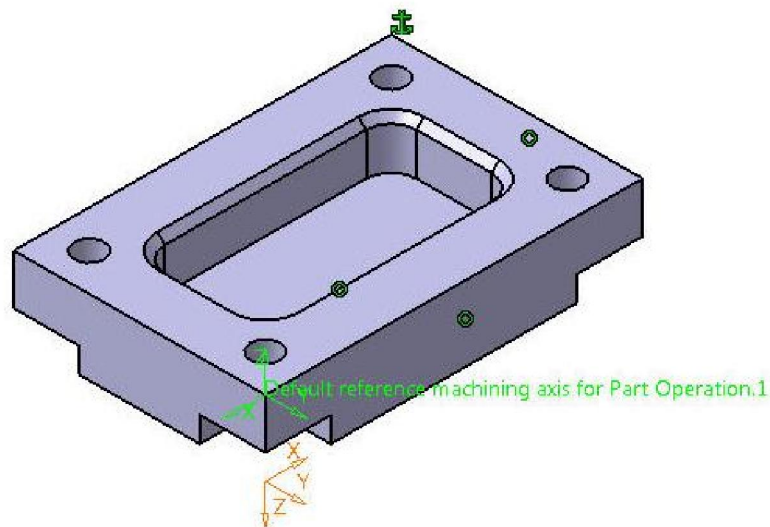


Slika 3.10. Pozicije grupe glodanje 2

### 3.8. GRUPA GLODANJE 3

Materijal od kojeg su rađene pozicije grupe glodanje 3 je SL 05.

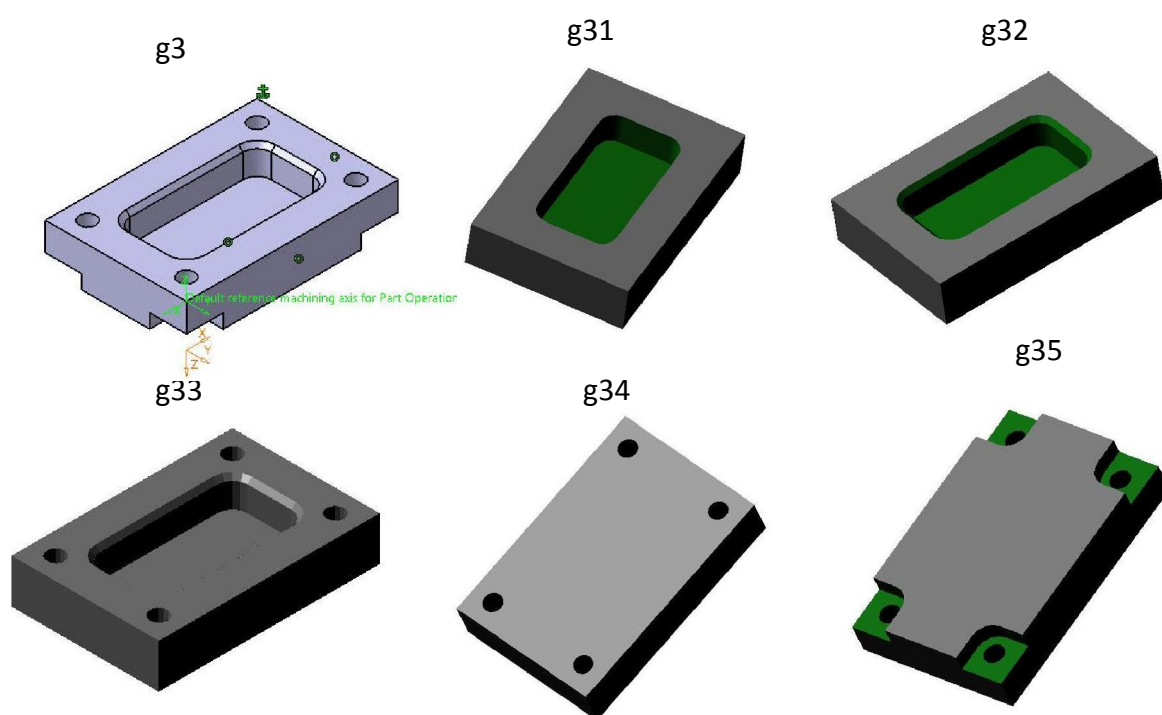
REPREZENTANT g3



Slika 3.11. Reprezentant g3

Na reprezentantu g3 trebaju biti obavljene sljedeće operacije:

- glodanje 1
- glodanje skošenja
- bušenje
- glodanje 2



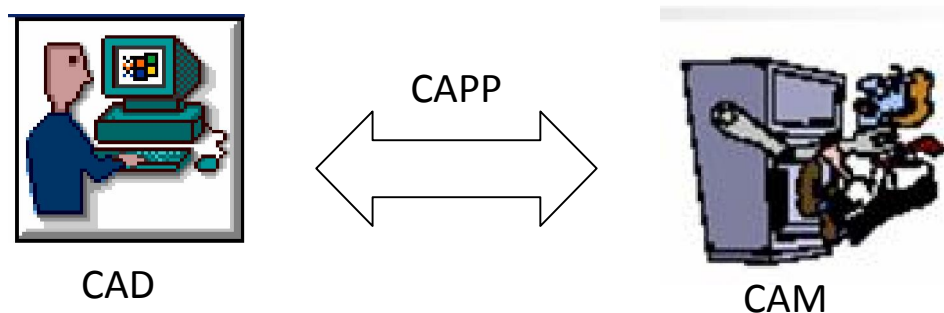
Slika3.12. Pozicije grupe glodanje 3



## 4. OSNOVE CAM KONCEPTA

### 4.1. UVOD

Računalom potpomognuta proizvodnja (CAM) je korištenje softverskih alata koji pomažu inženjerima i strojobravarima u proizvodnji, izradi prototipa proizvoda te kod strojne obrade.[2] Njegova primarna svrha je stvoriti brži proizvodni proces i omogućiti strojnu obradu s preciznijim dimenzijama. Također je cilj koristiti samo potrebnu količinu sirovine (što smanjuje otpad), dok je istovremeno smanjenjena potrošnja energije. CAM je programski alat koji omogućuje proizvodnju fizičkih modela pomoću programa za računalom potpomognuto konstruiranje (CAD). CAM stvara stvarne verzije komponenti osmišljene unutar programskog paketa.



Slika 4.1. CAD-CAAPP-CAM

CAM je oblik automatizacije u kojem se radne (operativne) informacije proizvodnoj opremi, strojevima, predaju izravno iz računala. Ta tehnologija se razvila iz numerički upravljanih strojeva s početka 50-tih, čijim radom se upravljalo pomoću niza kodiranih naredbi sadržanih na bušenim karticama ili bušenoj vrpici. Današnja računala mogu upravljati radom niza robota, glodalica, tokarilica, strojeva za zavarivanje i drugih strojeva i uređaja, transportirajući obradak od stroja do stroja, kada je operacija na prethodnom stroju završena. Takvi sustavi dozvoljavaju jednostavno i brzo reprogramiranje, što omogućuje brzu primjenu konstrukcijskih promjena. Napredniji sustavi, koji su obično integrirani s CAD sustavima, mogu upravljati i takvim zadacima kao što su narudžbe dijelova, raspoređivanje i izmjena alata.

Princip rada CAM sustava temelji se na NC i CNC modulima. To je tehnologija gdje se koriste programi za kontrolu proizvodnih strojeva kao što su tokarilice, glodalice, bušilice i strojevi za konvencionalno i nekonvencionalno rezanje materijala (laser, plazma, vodeni mlaz). Postoje dva primarna tipa numeričke kontrole koji se razlikuju prema metodi spremanja programa. U slučaju CNC-a, kontrolni sustav proizvodnog stroja direktno je povezan s lokalnim računalom gdje je stvarni program pohranjen. Drugi, moderniji pristup je okarakteriziran pomoću distribuirane kontrole, gdje se s više proizvodnih strojeva upravlja iz jednog centra-DNC.



## **4.2. PLANIRANJE PROCESA POMOCU RACUNALA – CAPP**

### **4.2.1. VARIJANTNI PRISTUP**

Ova metoda projektiranja procesa temelji se na klasifikacijskom sustavu, kodiranja dijelova i grupnoj tehnologiji. Tehnološki klasifikator omogućuje da se svi dijelovi iz proizvodnog procesa razvrstaju u grupe vrlo sličnih ili identičnih tehnoloških postupaka obrade. Za grupe dijelova radi se tehnološki postupak koji se unosi u računalo pod klasifikacijskim brojem grupe. U usporedbi sa ručnim pristupom ovakav pristup ima prednosti u upravljanju odlukama, stoga kompliciranije odluke zahtjevaju manje vremena. Procedure se mogu i standardizirati unošenjem znanja planera i strukturiranjem prema potrebama kompanije. Mogu se spremati gotovi planovi i znanje osoblja kompanije prema kojem se novi planovi brzo i učinkovito ocjenjuju. Najveći nedostatak ovakvog pristupa je što plan još uvijek ovisi o znanjima planera, računalo služi samo kao alat.[2]

#### *PROBLEMI KOD PRIMJENE VARIJANTNOG PRISTUPA*

- sustav se može primjenjivati samo ako već postoji plan za slične obratke
- za modifikaciju standardnog plana ipak je potrebna osoba s iskustvom u planiranju procesa
- sustavi ne generiraju detalje
- varijantni pristup ne može se koristiti u potpuno automatiziranom okruženju, odnosno ne radi potpuno automatizirano
- otežano osuvremenjavanje planova procesa, odnosno uvođenje poboljšanja i novih tehnologija
- nedostatak je i kruta podjela na grupe, ako dio ne upada u grupu, nema svoj PTP i radi se nova grupa

#### *PREDNOSTI VARIJANTNOG PRISTUPA*

- kada se jednom uspostavi standardni plan procesa moguće ga je koristiti za planiranje procesa cijelog niza dijelova
- u usporedbi s generativnim pristupom, zahtjeva jednostavnije programiranje i instalaciju
- sustav je lako razumljiv i planer procesa ima nadzor nad konačnim planom procesa
- jednostavno ga je savladati i primjenjivati

### **4.2.2. GENERATIVNI PRISTUP**

Kod ove metode tehnološki postupak obrade se projektira nezavisno i individualno za svaki izradak i bez primjene grupne tehnologije ili modifikacije standardnih planova obrade. Na osnovu odgovarajućih ulaznih informacija o izradku ovaj sustav automatizirano generira tehnološki postupak obrade prema ugrađenom algoritmu i logici odlučivanja. Pravila izrade i mogućnosti opreme pohranjena su u računalnom sustavu. Korištenjem tog sustava moguće je izrađivati planove izrade za određeni dio bez ikakvog sudjelovanja planera.

Kod generativnog pristupa proces projektiranja tehnološkog procesa može se prikazati kao proces razlaganja priprema skidanjem određenih dijelova, tako da se kao ostatak dobije izradak. Zbog toga se mora definirati početno i konačno stanje materijala,

odnosno pripremak i izradak. Logika generativnog CAPP sustava može biti: projektiranje tehnoloških postupaka skidanjem slojeva materijala, projektiranje tehnoloških procesa dodavanjem slojeva materijala.

Kod projektiranje tehnološkog procesa dodavanjem slojeva materijala uzima se za početno stanje izradak, a zatim se dodavanjem materijala na kraju dobije pripremak. Svaka elementarna transformacija početnog u konačno stanje ili skinuti sloj materijala predstavlja tehnološku operaciju ili zahvat. Glavne komponente sustava su: opis dijela, baza podataka o izradbi, logika zaključivanja (decision making logic) i algoritmi.

Generativni CAPP sustavi koriste specijalno razvijene jezike za opisivanje izratka sa zadatkom da izvrše transformaciju originalnog zapisa (crtež, CAD model) u pogodan ulazni format, prepoznatljiv CAPP sustavu. Ulazni format sadrži geometrijske i tehnološke informacije o izratku. Ulazni format ovih sustava može biti: klasifikacijski broj, simbolički jezik za opisivanje geometrijskih i tehnoloških informacija, CAD model

Nedostaci generativnog pristupa su kompleksnosti sustava za čiju je primjenu teško razviti softver, CAD model najčešće nema sve informacije potrebne za projektiranje tehnologije, potrebne su vrlo velike baze znanja kako bi se pokrio širok spektar geometrije obradaka te je broj mogućih pravila i kombinacija vrlo velik.

Sustav ima velik potencijal integracije u automatizirane izradbene sustave i generiranje detaljnih informacija potrebnih za upravljanje. Između ostalih neke od prednosti su brzo generiranje konzistentnih planova procesa, a plan procesa za nove komponente izrađuje se jednostavno kao i za postojeće komponente.

#### ***NEDOSTACI GENERATIVNOG PRISTUPA***

- generativni pristup je kompleksan i teško je razviti softver za takvu primjenu (razvoj tehnika AI i rezultati na drugim poljima ohrabivali su njezinu primjenu i ovdje, ali postignuti rezultati su manji od očekivanja)
- CAD model najčešće nema sve informacije potrebne za projektiranje tehnologije (npr. tolerancije)
- potrebne su vrlo velike baze znanja kako bi se pokrilo širok spektar geometrije obradaka
- broj mogućih pravila i kombinacija je vrlo velik

#### ***PREDNOSTI GENERATIVNOG PRISTUPA***

- brzo generira konzistentne planove procesa
- plan procesa za nove komponente izrađuje se jednako jednostavno kao i za postojeće komponente
- jednostavnije uvođenje poboljšanih i novih tehnologija

### **4.2.3. SEMI-GENERATIVNI**

Semi-generativni pristup je kombinacija generativnog i varijantnog pristupa tako da su od svakog sustava uzete prednosti. U početku sustav radi kao generativni pristup, ali kada se procesni plan definira, planer ga po potrebi prilagođava ili se po potrebi uključuje u rad generativni dio sustava.

*PREDNOSTI SEMI-GENERATIVNOG PRISTUPA*

- široka primjenjivost
- prilagodljivost
- dobra produktivnost projektanta

*NEDOSTACI SEMI-GENERATIVNOG PRISTUPA*

- nužnost izgradnje baze standardnih projektnih podataka

## 5. RAZRADA TEHNOLOŠKOG PROCESA I VREMENA IZRADE CAM

Za sve pozicije iz naših gupa izrađeni su 3D modeli u programu Catia. U CAM modulu su definirani svi parametri za izvođenje operacija, odabrani su alati, te su određeni režimi rada. Nakon toga je za svaku poziciju izrađena dokumentacija, te su iz nje preuzeta vremena izrade.

### 5.1. GRUPA TOKARENJE 1

#### *REPREZENTANT t1*

Na reprezentantu t1 trebaju biti obavljene sljedeće operacije:

- vanjsko grubo tokarenje, operacija traje 37 sekundi
- bušenje, operacija traje 20 sekundi
- unutarnje tokarenje, operacija traje 10 sekundi
- vanjsko fino tokarenje utor 1, operacija traje 7 sekundi
- vanjsko fino tokarenje utor 2, operacija traje 7 sekundi

#### *POZICIJA t11*

Na poziciji t11 trebaju biti obavljene sljedeće operacije:

- vanjsko grubo tokarenje, operacija traje 37 sekundi
- bušenje, operacija traje 20 sekundi
- unutarnje tokarenje, operacija traje 10 sekundi

#### *POZICIJA t12*

Na poziciji t12 trebaju biti obavljene sljedeće operacije:

- vanjsko grubo tokarenje, operacija traje 37 sekundi
- bušenje, operacija traje 20 sekundi
- vanjsko fino tokarenje utor 1, operacija traje 7 sekundi
- vanjsko fino tokarenje utor 2, operacija traje 7 sekundi

#### *POZICIJA t13*

Na poziciji t13 trebaju biti obavljene sljedeće operacije:

- vanjsko grubo tokarenje, operacija traje 37 sekundi
- bušenje, operacija traje 20 sekundi
- vanjsko fino tokarenje utor 1, operacija traje 7 sekundi

#### *POZICIJA t14*

Na poziciji t14 trebaju biti obavljene sljedeće operacije:

- vanjsko grubo tokarenje, operacija traje 37 sekundi
- bušenje, operacija traje 20 sekundi

**POZICIJA t15**

Na poziciji t15 trebaju biti obavljene sljedeće operacije:

- vanjsko grubo tokarenje, operacija traje 37 sekundi
- vanjsko fino tokarenje utor 1, operacija traje 7 sekundi
- vanjsko fino tokarenje utor 2, operacija traje 7 sekundi

Tablica 5.1. Prikaz vremena obrade pojedinih pozicija grupe tokarenje 1

|     | Vanjsko grubo tokarenje | Bušenje | Unutarnje tokarenje | Vanjsko fino tokarenje 1 | Vanjsko fino tokarenje 2 | Ukupno vrijeme obrade |
|-----|-------------------------|---------|---------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------|
| t1  | 37                      | 20      | 10                  | 7                        | 7                        | 81                    |
| t11 | 37                      | 20      | 10                  | 0                        | 0                        | 67                    |
| t12 | 37                      | 20      | 0                   | 7                        | 7                        | 71                    |
| t13 | 37                      | 20      | 10                  | 7                        | 0                        | 74                    |
| t14 | 37                      | 20      | 0                   | 0                        | 0                        | 57                    |
| t15 | 37                      | 0       | 0                   | 7                        | 7                        | 51                    |

## 5.2. GRUPA TOKARENJE 2

**REPREZENTANT t2**

Na reprezentantu t2 trebaju biti obavljene sljedeće operacije:

- poravnavanje i vanjsko tokarenje, operacija traje 55 sekundi
- vanjsko grubo tokarenje, operacija traje 34 sekundi
- obrada provrta, operacija traje 10 sekundi
- unutarnje tokarenje, operacija traje 25 sekundi
- vanjsko fino tokarenje, operacija traje 31 sekundi

**POZICIJA t21**

Na poziciji t11 trebaju biti obavljene sljedeće operacije:

- poravnavanje i vanjsko tokarenje, operacija traje 55 sekundi
- unutarnje tokarenje, operacija traje 25 sekundi

**POZICIJA t22**

Na poziciji t22 trebaju biti obavljene sljedeće operacije:

- poravnavanje i vanjsko tokarenje, operacija traje 55 sekundi
- obrada provrta, operacija traje 10 sekundi
- unutarnje tokarenje, operacija traje 25 sekundi

**POZICIJA t23**

Na poziciji t23 trebaju biti obavljene sljedeće operacije:

- poravnavanje i vanjsko tokarenje, operacija traje 55 sekundi
- vanjsko grubo tokarenje, operacija traje 34 sekundi
- obrada provrta, operacija traje 10 sekundi

- vanjsko fino tokarenje, operacija traje 31 sekundi

**POZICIJA t24**

Na poziciji t24 trebaju biti obavljene sljedeće operacije:

- poravnavanje i vanjsko tokarenje, operacija traje 55 sekundi
- obrada provrta, operacija traje 10 sekundi

**POZICIJA t25**

Na poziciji t25 trebaju biti obavljene sljedeće operacije:

- obrada provrta, operacija traje 10 sekundi
- unutarnje tokarenje, operacija traje 25 sekundi

Tablica 5.2. Prikaz vremena obrade pojedinih pozicija grupe tokarenje 2

|     | Poravnavanje<br>i vanjsko<br>tokarenje | Vanjsko<br>grubo<br>tokarenje | Obrada<br>provrti | Unutarnje<br>tokarenje | Vanjsko fino<br>tokarenje | Ukupno<br>vrijeme<br>obrade |
|-----|--|-------------------------------|-------------------|------------------------|---------------------------|-----------------------------|
| t2  | 55                                     | 34                            | 10                | 25                     | 31                        | 155                         |
| t21 | 55                                     | 34                            | 0                 | 0                      | 0                         | 89                          |
| t22 | 55                                     | 0                             | 10                | 25                     | 0                         | 90                          |
| t23 | 55                                     | 34                            | 10                | 0                      | 31                        | 130                         |
| t24 | 55                                     | 0                             | 10                | 0                      | 0                         | 65                          |
| t25 | 0                                      | 0                             | 10                | 25                     | 0                         | 35                          |

**5.3. GRUPA TOKARENJE 3****REPREZENTANT t3**

Na reprezentantu t3 trebaju biti obavljene sljedeće operacije:

- vanjsko grubo tokarenje, operacija traje 50 sekundi
- bušenje, operacija traje 16 sekundi
- unutarnje tokarenje, operacija traje 20 sekundi
- vanjsko fino tokarenje, operacija traje 25 sekundi

**POZICIJA t31**

Na poziciji t31 trebaju biti obavljene sljedeće operacije:

- vanjsko grubo tokarenje, operacija traje 50 sekundi
- bušenje, operacija traje 16 sekundi
- vanjsko fino tokarenje, operacija traje 25 sekundi

**POZICIJA t32**

Na poziciji t32 trebaju biti obavljene sljedeće operacije:

- vanjsko grubo tokarenje, operacija traje 50 sekundi
- vanjsko fino tokarenje, operacija traje 25 sekundi

**POZICIJA t33**

Na poziciji t33 trebaju biti obavljene sljedeće operacije:

- bušenje, operacija traje 16 sekundi
- unutarnje tokarenje, operacija traje 20 sekundi

**POZICIJA t34**

Na poziciji t24 trebaju biti obavljene sljedeće operacije:

- bušenje, operacija traje 16 sekundi

Tablica 5.3. Prikaz vremena obrade pojedinih pozicija grupe tokarenje 3

|     | Vanjsko grubo tokarenje | Bušenje | Unutarnje tokarenje | Vanjsko fino tokarenje | Ukupno vrijeme obrade |
|-----|-------------------------|---------|---------------------|------------------------|-----------------------|
| t3  | 50                      | 16      | 20                  | 25                     | 111                   |
| t31 | 50                      | 16      | 0                   | 25                     | 91                    |
| t32 | 50                      | 0       | 0                   | 25                     | 75                    |
| t33 | 0                       | 16      | 20                  | 0                      | 36                    |
| t34 | 0                       | 0       | 0                   | 25                     | 25                    |

## 5.4. GRUPA GLODANJE 1

**REPREZENTANT g1**

Na reprezentantu g1 trebaju biti obavljene sljedeće operacije:

- glodanje 1, operacija traje 25 minuta i 5 sekundi (1505 sekundi)
- bušenje, operacija traje 1 minutu i 23 sekunde (83 sekunde)
- glodanje 2, operacija traje 8 minuta i 2 sekunde (482 sekunde)

**POZICIJA g11**

Na poziciji g11 trebaju biti obavljene sljedeće operacije:

- glodanje 1, operacija traje 25 minuta i 5 sekundi (1505 sekundi)

**POZICIJA g12**

Na poziciji g12 trebaju biti obavljene sljedeće operacije:

- glodanje 1, operacija traje 25 minuta i 5 sekundi (1505 sekundi)
- bušenje, operacija traje 1 minutu i 23 sekunde (83 sekunde)

**POZICIJA g13**

Na poziciji g13 trebaju biti obavljene sljedeće operacije:

- bušenje, operacija traje 1 minutu i 23 sekunde (83 sekunde)

**POZICIJA g14**

Na poziciji g14 trebaju biti obavljene sljedeće operacije:

- glodanje 2, operacija traje 8 minuta i 2 sekunde (482 sekunde)

Tablica 5.4. Prikaz vremena obrade pojedinih pozicija grupe glodanje 1

|     | Glodanje 1 | Bušenje | Glodanje 2 | Ukupno vrijeme obrade |
|-----|------------|---------|------------|-----------------------|
| g1  | 1505       | 83      | 482        | 2070                  |
| g11 | 1505       | 0       | 0          | 1505                  |
| g12 | 1505       | 83      | 0          | 1588                  |
| g13 | 0          | 83      | 0          | 83                    |
| g14 | 0          | 0       | 482        | 482                   |

## 5.5. GRUPA GLODANJE 2

### *REPREZENTANT g2*

Na reprezentantu g2 trebaju biti obavljene sljedeće operacije:

- glodanje 1, operacija traje 5 minuta (300 sekundi)
- glodanje zaobljenja , operacija traje 4 minute (240 sekundi)
- glodanje skošenja, operacija traje 31 sekundu
- bušenje, operacija traje 2 minute i 12 sekundi (132 sekunde)
- glodanje 2, operacija traje 3 minute i 1 sekundu (181 sekundu)

### *POZICIJA g21*

Na poziciji g21 trebaju biti obavljene sljedeće operacije:

- glodanje 1, operacija traje 5 minuta (300 sekundi)

### *POZICIJA g22*

Na poziciji g22 trebaju biti obavljene sljedeće operacije:

- glodanje 1, operacija traje 5 minuta (300 sekundi)
- glodanje zaobljenja , operacija traje 4 minute (240 sekundi)

### *POZICIJA g23*

Na poziciji g23 trebaju biti obavljene sljedeće operacije:

- glodanje 1, operacija traje 5 minuta (300 sekundi)
- glodanje zaobljenja , operacija traje 4 minute (240 sekundi)
- glodanje skošenja, operacija traje 31 sekundu

### *POZICIJA g24*

Na poziciji g24 trebaju biti obavljene sljedeće operacije:

- bušenje, operacija traje 2 minute i 12 sekundi (132 sekunde)

### *POZICIJA g25*

Na poziciji g25 trebaju biti obavljene sljedeće operacije:

- glodanje 1, operacija traje 5 minuta (300 sekundi)
- glodanje zaobljenja , operacija traje 4 minute (240 sekundi)
- glodanje skošenja, operacija traje 31 sekundu



- bušenje, operacija traje 2 minute i 12 sekundi (132 sekunde)

Tablica 5.5. Prikaz vremena obrade pojedinih pozicija grupe glodanje 2

|     | Glodanje 1 | Glodanje zaobljenja | Glodanje skošenja | Bušenje | Glodanje 2 | Ukupno vrijeme obrade |
|-----|------------|---------------------|-------------------|---------|------------|-----------------------|
| g2  | 300        | 240                 | 31                | 132     | 181        | 884                   |
| g21 | 300        | 0                   | 0                 | 0       | 0          | 300                   |
| g22 | 300        | 240                 | 0                 | 0       | 0          | 540                   |
| g23 | 300        | 240                 | 31                | 0       | 0          | 571                   |
| g24 | 0          | 0                   | 0                 | 132     | 0          | 132                   |
| g25 | 300        | 240                 | 31                | 132     | 0          | 703                   |

## 5.6. GRUPA GLODANJE 3

### REPREZENTANT g3

Na reprezentantu g3 trebaju biti obavljene sljedeće operacije:

- glodanje 1, operacija traje 8 minuta (420 sekundi)
- glodanje skošenja, operacija traje 60 sekundi
- bušenje, operacija traje 1 minutu i 58 sekundi (118 sekundi)
- glodanje 2, operacija traje 1 minutu i 36 sekundi (96 sekundi)

### POZICIJA g31

Na poziciji g31 trebaju biti obavljene sljedeće operacije:

- glodanje 1, operacija traje 8 minuta (420 sekundi)

### POZICIJA g32

Na poziciji g32 trebaju biti obavljene sljedeće operacije:

- glodanje 1, operacija traje 8 minuta (420 sekundi)
- glodanje skošenja, operacija traje 60 sekundi

### POZICIJA g33

Na poziciji g33 trebaju biti obavljene sljedeće operacije:

- glodanje 1, operacija traje 8 minuta (420 sekundi)
- glodanje skošenja, operacija traje 60 sekundi
- bušenje, operacija traje 1 minutu i 58 sekundi (118 sekundi)

### POZICIJA g34

Na poziciji g34 trebaju biti obavljene sljedeće operacije:

- bušenje, operacija traje 1 minutu i 58 sekundi (118 sekundi)

### POZICIJA g35

Na poziciji g35 trebaju biti obavljene sljedeće operacije:

- bušenje, operacija traje 1 minutu i 58 sekundi (118 sekundi)

- glodanje 2, operacija traje 1 minutu i 36 sekundi (96 sekundi)

Tablica 5.6. Prikaz vremena obrade pojedinih pozicija grupe glodanje 3

|     | Glodanje 1 | Glodanje skošenja | Bušenje | Glodanje 2 | Ukupno vrijeme obrade |
|-----|------------|-------------------|---------|------------|-----------------------|
| g3  | 420        | 60                | 118     | 96         | 694                   |
| g31 | 420        | 0                 | 0       | 0          | 420                   |
| g32 | 420        | 60                | 0       | 0          | 480                   |
| g33 | 420        | 60                | 118     | 0          | 598                   |
| g34 | 0          | 0                 | 118     | 0          | 118                   |
| g35 | 0          | 0                 | 118     | 96         | 214                   |

## 6. PRIKAZ PLANT SIMULATION SOFTVERA

### 6.1. UVOD

Plant Simulation je kompjutorska aplikacija za modeliranje, simuliranje, analiziranje, vizualiziranje i optimiziranje proizvodnog sistema i procesa, toka materijala i logističkih operacija. Aplikaciju je izradila tvrtka Siemens PLM Software. Korisnici Plant Simulation aplikacije mogu optimizirati tok materijala i iskoristivosti resursa za na svim nivoima tvornice, od globalnih proizvodnih postrojenja, preko lokalnih tvornica, do pojedinih proizvodnih linija. Plant Simulation aplikaciju koriste planeri proizvodnje u malim poduzećima isto kao i multinacionalne kompanije, prvenstveno za pregled strateškog plana, kontrolu velikih i složenih proizvodnih investicija. Ova aplikacija je jedna od značajnijih proizvoda koji dominiraju u tom tržišnom segmentu.

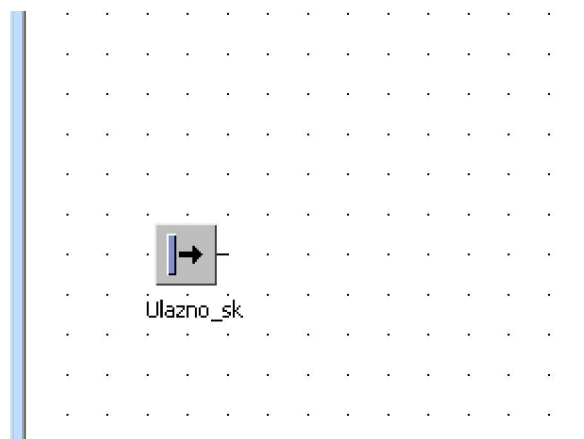
### 6.2. IZRADA OSNOVNOG MODELA ZA SIMULACIJU PROIZVODNJE KREIRANIH GRUPA PROIZVODA

U ovome poglavlju je prikazano kako je izrađen osnovni model za simulaciju proizvodnje kreiranih grupa proizvoda. Prikazan je postupak izrade, i data su osnovna objašnjenja alata koji su korišteni. Ovim postupkom izrade je konkretno objašnjena izrada simulacije za grupu tokarenje 1.

#### 6.2.1. ULAZNO SKLADIŠTE

Ulazno skladište simuliramo koristeći objekt Source. Da bi stvorili MUs s kojim objekt toka materijala u simulaciji rukuje koristi se objekt Source. Source je aktivni objekt toka materijala. Služi za generiranje različitih MUs jedan za drugim ili sekvencijalno. Nema vrijeme procesiranja.[3] Može se postaviti proces koji će određivati vrijeme proizvodnje kao i proces koji će određivati vrstu i tip MUs-a koji se treba proizvoditi. Kao aktivni objekt toka materijala *Source* nastoji MUs koje je proizveo premjestiti na objekt s kojim je spojen.

\*MU – Moving Unit (u ovom slučaju reprezentanti grupa i pozicije)



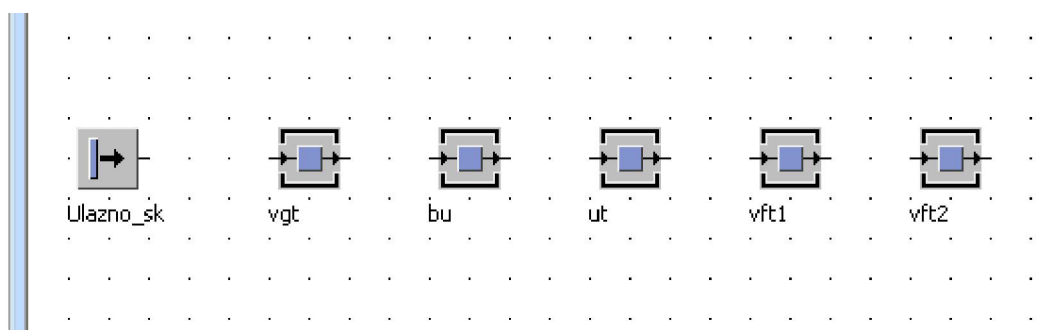
Slika 6.1. Objekt ulaznog skladišta

### 6.2.2. OBRADNI STROJEVI

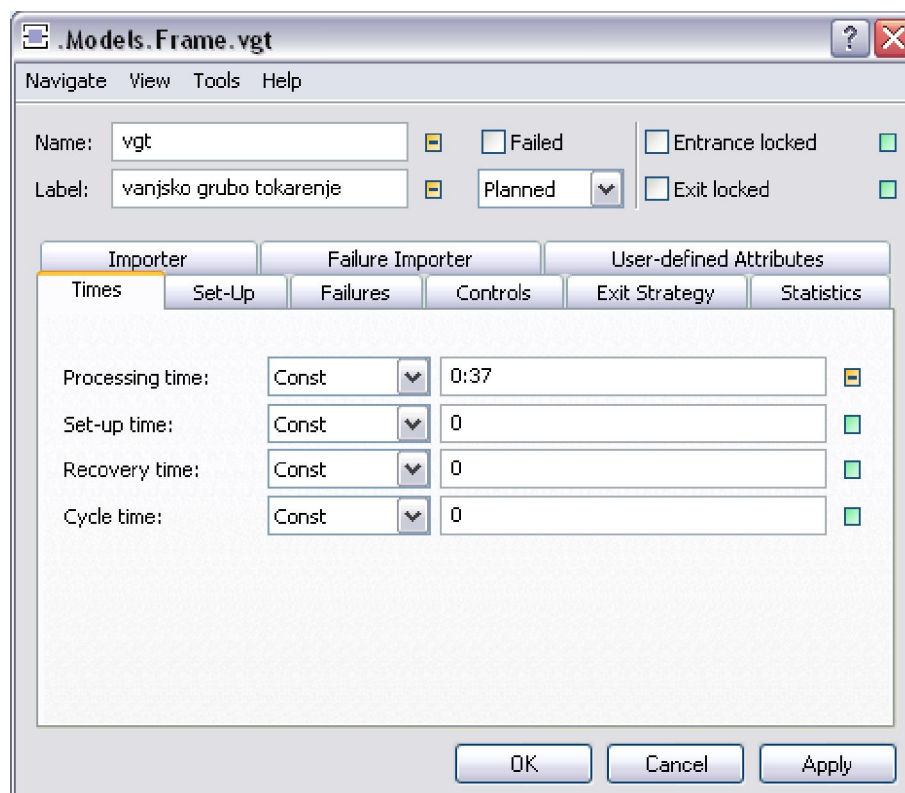
Obradne strojeve na kojima se izvode zadane operacije simuliramo koristeći objekt SingleProc. SingleProc objekt koristimo kada želimo simulirati operaciju nad MUs. Potrebno nam je pet operacija za obradu reprezentanta grupe tokarenje 1. Zbog toga u model simulacije ubacujemo pet SingleProc objekta. SingleProc objekti su nazvani skraćenicama radi bolje preglednosti simulacijskog modela. Vrijeme trajanja pojedine obrade na pojedinom stroju određuje se za svaki objekt zasebno.

SingleProc objekti:

- vgt (vanjsko grubo tokarenje)
- bu (bušenje)
- ut (unutarnje tokarenje)
- vft1 (vanjsko fino tokarenje utor 1)
- vft2 (vanjsko fino tokarenje utor 2)



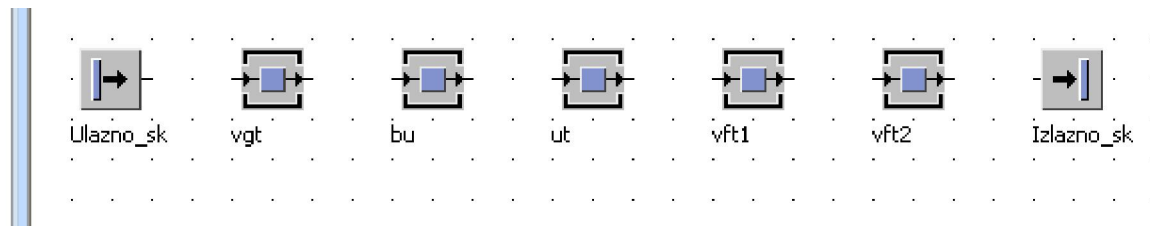
Slika 6.2. Objekti obradnih strojeva



Slika 6.3. Definiranje vremena trajanja operacije vgt (37 sekundi)

### 6.2.3. IZLAZNO SKLADIŠTE

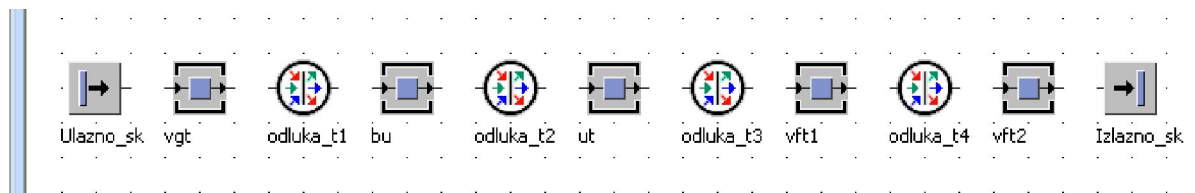
Izlazno skladište simulirano je pomoću objekta Drain. Objekt Drain se koristi kada želimo ukloniti dijelove i radna mjesta iz tvornice, tj. iz simulacije. Sakuplja statističke podatke o uklonjenim MUs.[3]



Slika 6.4. Objekt izlaznog skladišta

### 6.2.4. OBJEKTI KONTROLE TOKA

Objekti kontrole toka su simulirani pomoću objekta FlowControl. Znamo da za sve pozicije u nekoj od kreiranih grupa nisu potrebne sve operacije. Zato trebamo objekte FlowControl da preusmjere pozicije na na mjesta na kojima će se na njima obaviti potrebne operacije. U stvarnosti ulogu objekta FlowControl mogu obavljati i ljudi. Vrijeme trajanja kontrole toka je nula, odnosno ono će u kreiranim simulacijama biti zanemareno. Tako da su objekti FlowControl kreirani jer softver pomoću njih omogućava usmjeravanje MUs na određene strojeve na kojima se izvode zadane operacije.

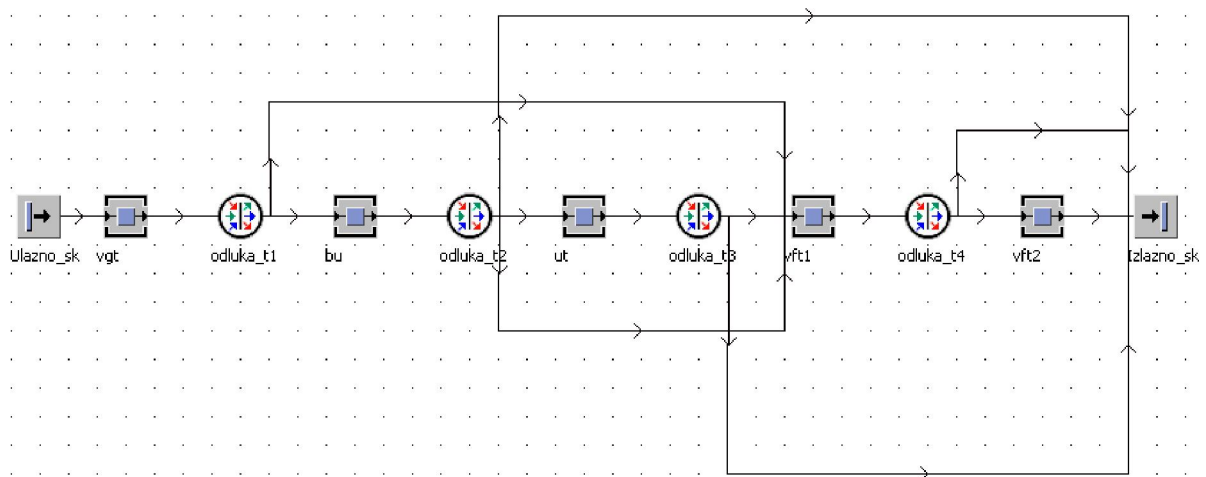


Slika 6.5. Objekti kontrole toka

### 6.2.5. POVEZIVANJE OBJEKATA

Da bi povezali dosad kreirane objekte koristimo objekt Connector. Objekt Connector osigurava tok materijala spajajući objekte. Na objektu Connector nalazi se strelica koja ukazuje na smijer toka materijala.

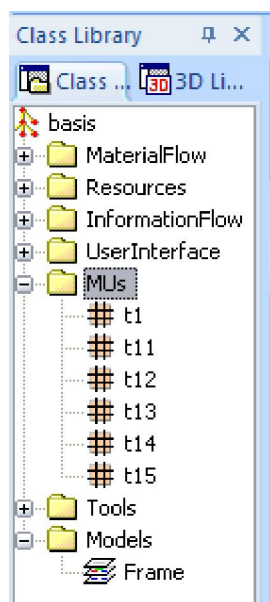
Iza objekta FlowControl postavljamo dvije ili više objekta Connector, jer se kod objekta FlowControl donosi odluka kojim putem će materijal nastaviti, odnosno koje će operacije preskočiti.



Slika 6.6. Prikaz toka materijala unutar pogona

### 6.2.6. IZRADA POTREBNIH MUs

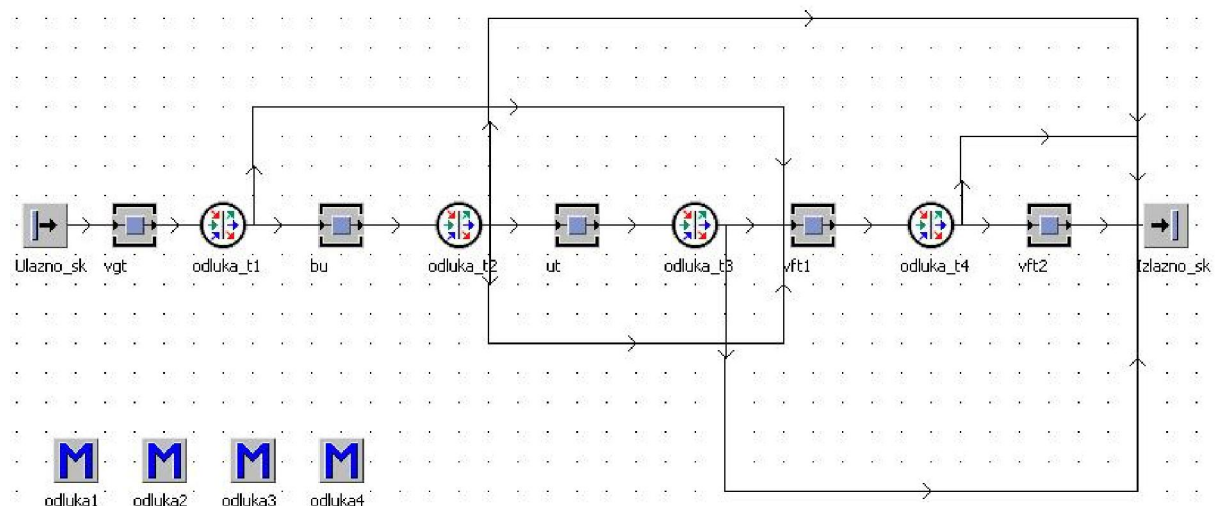
Da bi mogli simulirati proizvodnju više različitih proizvoda moramo ih najprije kreirati. Kreiranje različitih proizvoda je preduvjet za funkcioniranje kontrole toka, odnosno FlowControl objekata. Reprezentant i pozicije su nazvani skraćenicom, isto kao i u predhodnim poglavljima.



Slika 6.7. Kreirani MUs

### 6.2.7. DEFINIRANJE METODA ZA DONOŠENJE ODLUKA

Za definiranje metoda za donošenje odluka koristimo objekt *Method*. Objekt *Method* je mali program, usporediv sa procedurom ili funkcijom u programskom jeziku Basic, Pascal ili C++. *Method* može djelovati na veći broj događaja tijekom simulacije, zatražiti i postaviti uvjete, izvršiti zapisani programski kod, modificirati i proširiti ponašanje objekata, pripremiti model za nove korisnike, prilagoditi model vlastitim potrebama, povećati učinkovitost i fleksibilnost simulacijskog modela. Tim programom automatiziramo usmjeravanje pozicija na određene strojeve. Primjer koda dan je na slici 6.9.



Slika 6.8. Objekti Method dodani u simulaciju

Da bi mogli automatizirati usmjeravanje moramo unaprijed znati koja pozicija iz grupe ide na koji stroj. Sukladno s tim znanjem, i ovisno o kojem se FlowControl objektu radi, pišemo kôd u okvir objekta Method. Objektima Method je pridodan isti naziv kao i objektu FlowControl s kojim su povezani.

```

(r : integer) : integer
is
do

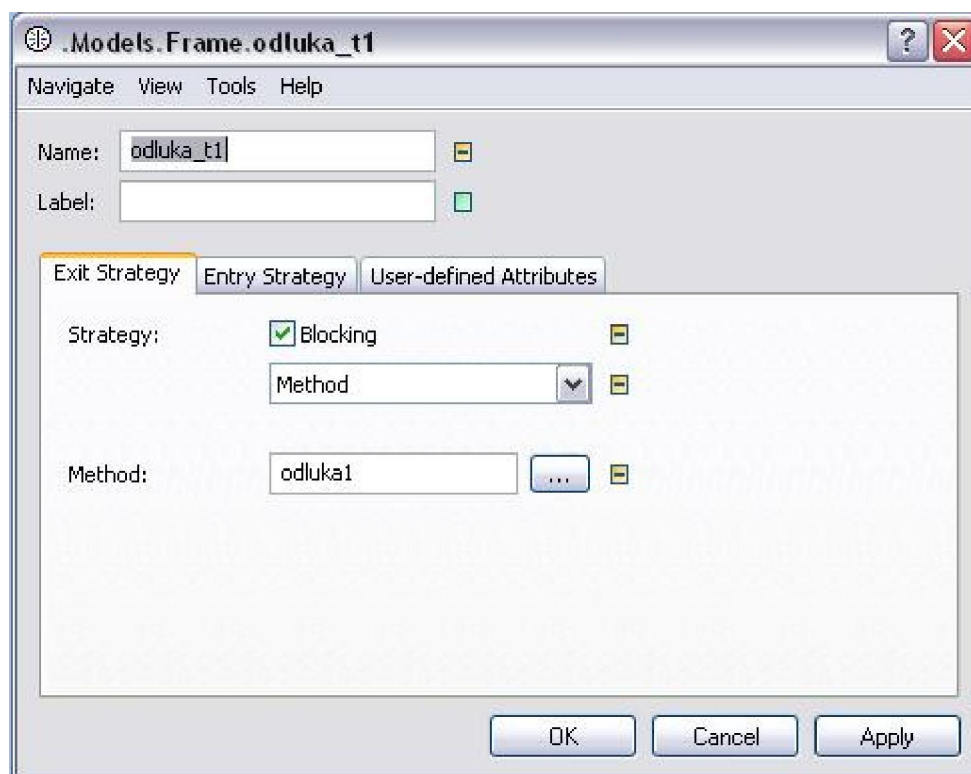
    if @.name = "t15"
    then
        result := 2;
    else
        result := 1;
    end;

end;

```

Slika 6.9. Tekst koda unutar metode odluka1

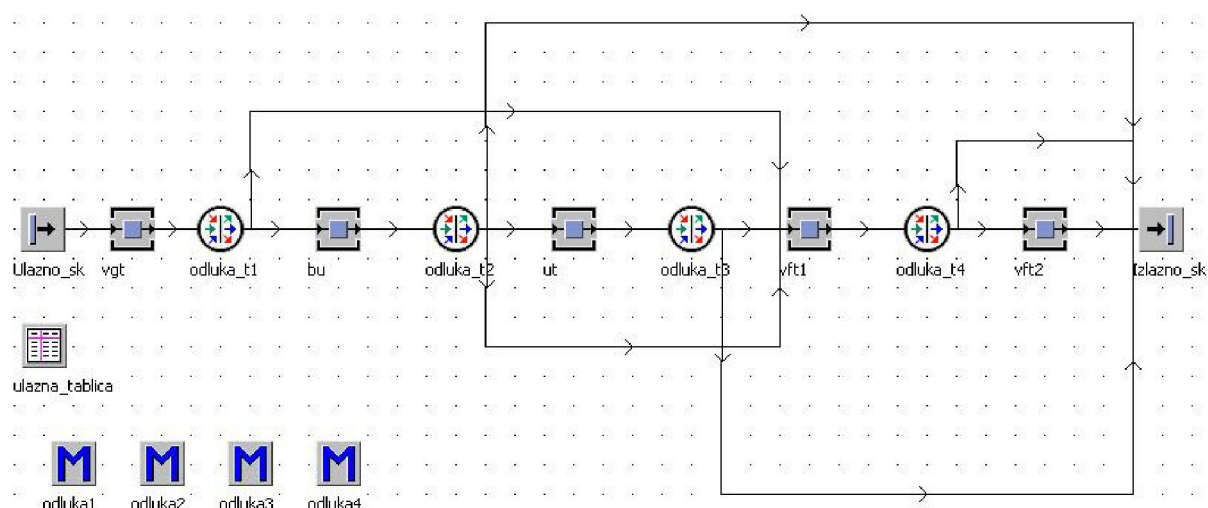
Da bi povezali određeni objekt FlowControl s određenim objektom Method okvir objekta FlowControl mora izgledati kao na slici 6.10.



Slika 6.10. Povezivanje objekta FlowControl i objekta Method

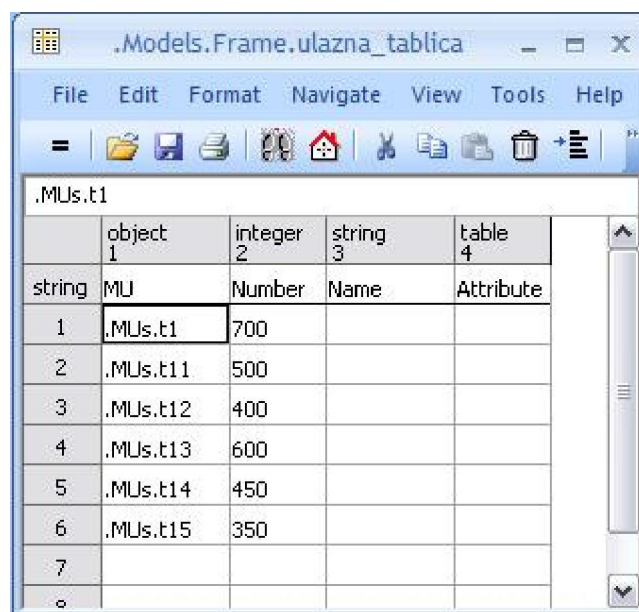
### 6.2.8. ULAZNA TABLICA

Za kreiranje ulazne tablice poslužit ćemo se objektom TableFile. Taj objekt spada u grupu objekata toka informacija. Objekt TableFile nam omogućava da definiramo koliko kojih pozicija želimo izraditi. Ulaznu tablicu ćemo popuniti željenim podacima ovisno o simulaciji, odnosno varijanti simulacije.



Slika 6.11. Objekt ulazna tablica pridodan simulaciji



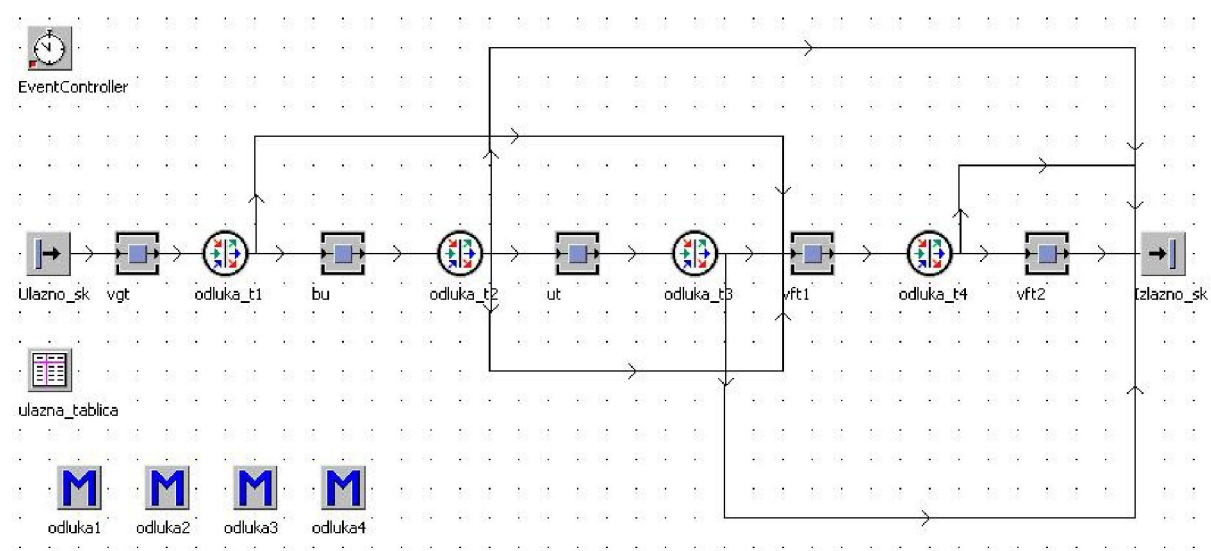


|        | object<br>1 | integer<br>2 | string<br>3 | table<br>4 |  |
|--------|-------------|--------------|-------------|------------|--|
| string | MU          | Number       | Name        | Attribute  |  |
| 1      | .MUs.t1     | 700          |             |            |  |
| 2      | .MUs.t11    | 500          |             |            |  |
| 3      | .MUs.t12    | 400          |             |            |  |
| 4      | .MUs.t13    | 600          |             |            |  |
| 5      | .MUs.t14    | 450          |             |            |  |
| 6      | .MUs.t15    | 350          |             |            |  |
| 7      |             |              |             |            |  |
| 8      |             |              |             |            |  |

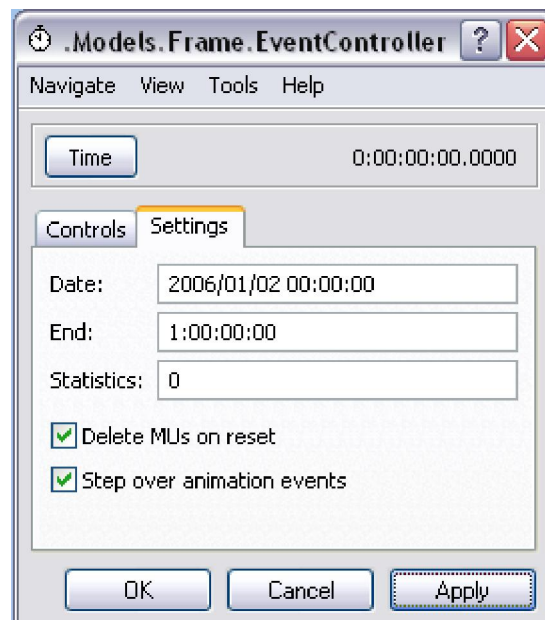
Slika 6.12. Primjer popunjene ulazne tablice

### 6.2.9. EVENT CONTROLLER

EventController koordinira i sinkronizira različite događaje koji nastaju tijekom simulacije. Može nam koristiti za ograničenje vremena trajanja simulacije, ili dati vrijeme trajanja nekog procesa.

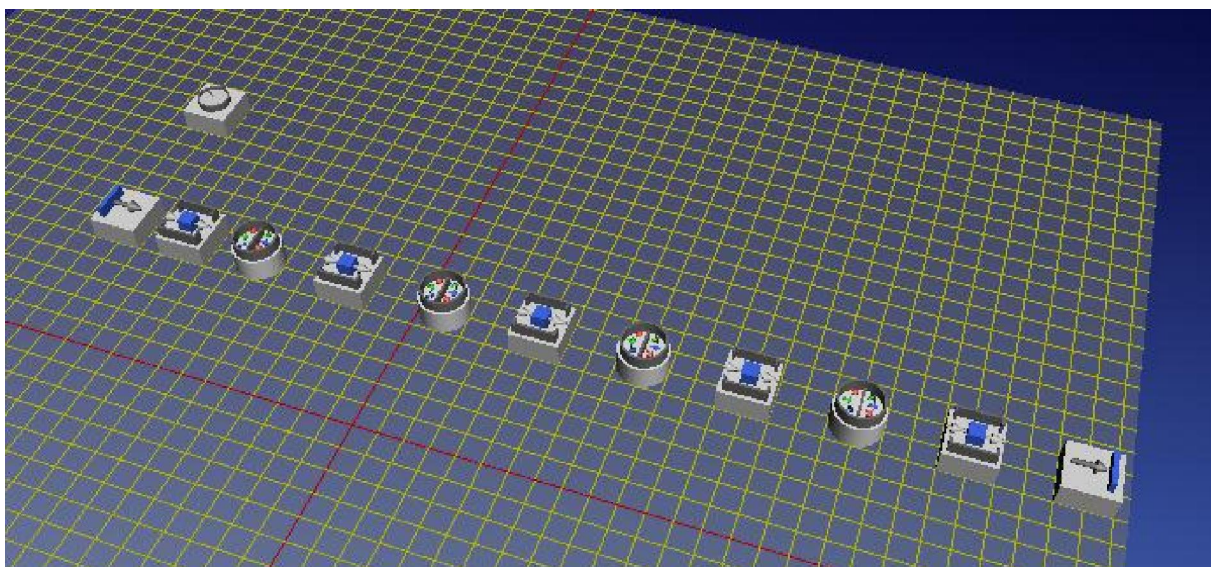


Slika 6.13. Objekt EventController pridodan simulaciji



Slika 6.14. Primjer određenog vremena trajanja simulacije od jedan dan

#### 6.2.10. PRIKAZ MODELA SIMULACIJE U 3D



Slika 6.15. Prikaz modela simulacije u 3D

## 7. RAZRADA KARAKTERISTIČNIH PROBLEMA I NAČINA RJEŠAVANJA U PROIZVODNJI

U ovom poglavlju su prikazane simulacije proizvodnih procesa koje su suočene s različitim problemima iz prakse. Svaki je problem opisan i analiziran. Problem je simuliran u Plant Simulation softveru. Rješenje problema i analiza procesa nakon riješenog problema je također obavljena pomoću softvera. U svakom primjeru je zanemareno vrijeme transporta između strojeva.

### 7.1. PREZAUZETOST KAPACITETA

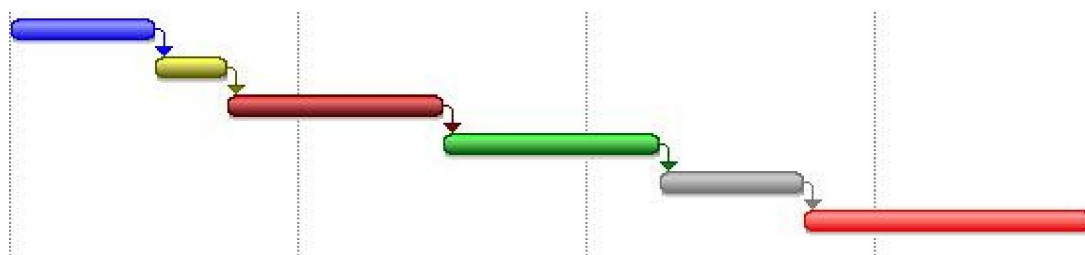
U ovom poglavlju je pokazano kako bi se riješio problem da u određenom periodu imamo veliko opterećenje pojedinih resursa. Recimo, da dobijemo šest različitih pozicija koje treba izraditi unutar određenog vremena. Zadana je određena količina pojedine pozicije, data je u tablici 7.1. Za ovaj problem korištena je grupa glodanje 3.

Tablica 7.1. Vremena izvođenja operacija i zadana količina pojedine pozicije

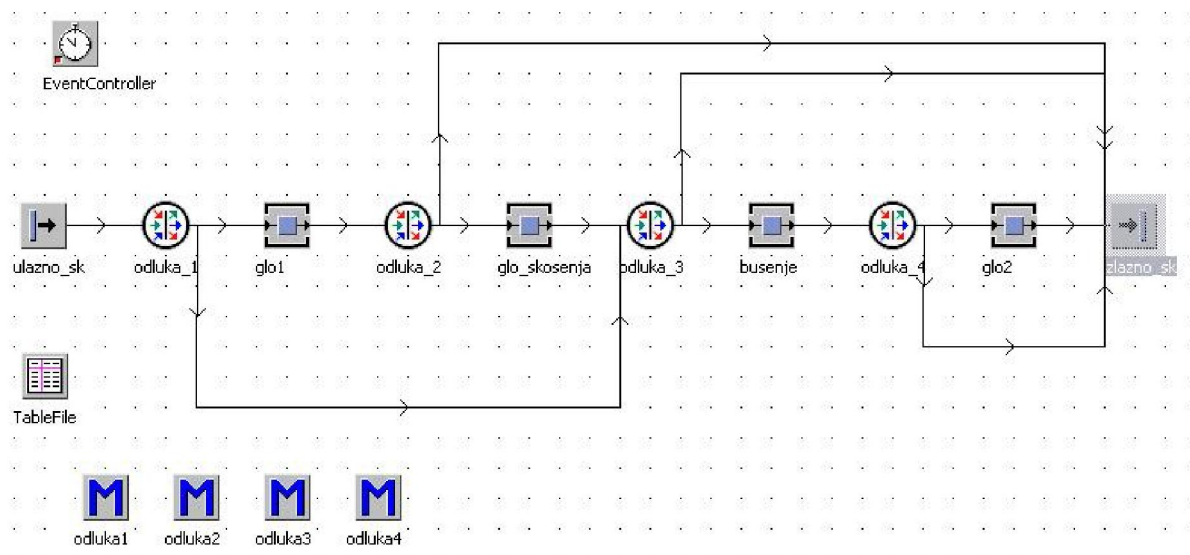
|     | Glodanje 1 | Glodanje skošenja | Bušenje | Glodanje 2 | Ukupno vrijeme obrade | Količina |
|-----|------------|-------------------|---------|------------|-----------------------|----------|
| g3  | 420        | 60                | 118     | 96         | 694                   | 100      |
| g31 | 420        | 0                 | 0       | 0          | 420                   | 200      |
| g32 | 420        | 60                | 0       | 0          | 480                   | 300      |
| g33 | 420        | 60                | 118     | 0          | 598                   | 300      |
| g34 | 0          | 0                 | 118     | 0          | 118                   | 800      |
| g35 | 0          | 0                 | 118     | 96         | 214                   | 900      |

#### 7.1.1. PROIZVODNJA ZADANIM REDOSLIJEDOM

Najprije se kreira simulacija u kojoj će se izrađivati vrste pozicija jedna poslije druge. U ovom primjeru nije bitno kojim redoslijedom određene vrste pozicija idu na obradu. Bitno je ukupno vrijeme potrebno za obradu svih vrsta pozicija. Znači, nakon što su obrađene sve pozicije g3, kreće se s izradom pozicija g31, zatim g32 i tako dok nije obrađena cijela narudžba.



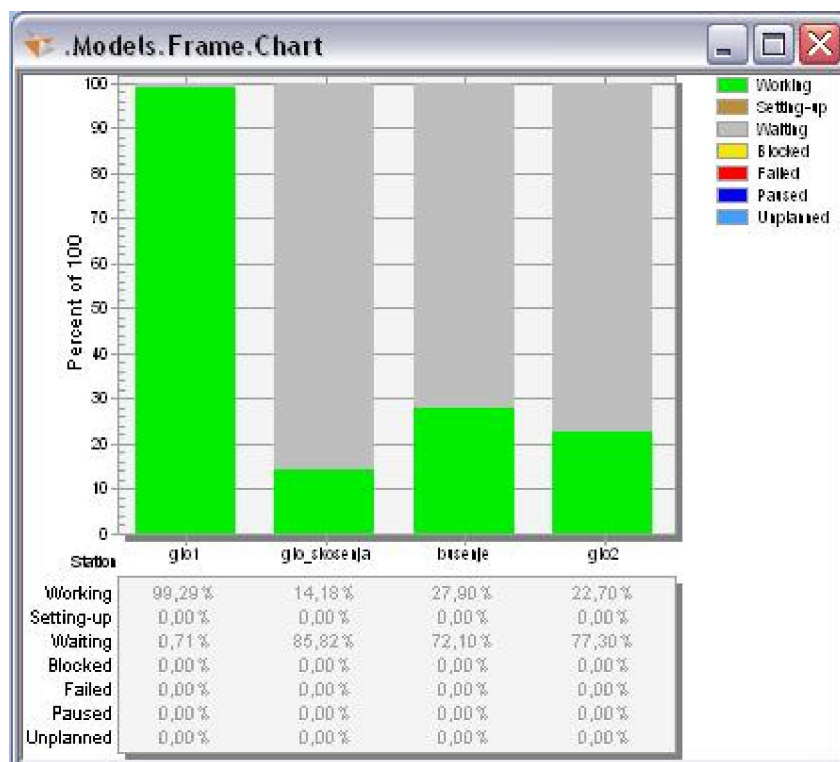
Slika 7.1. Gantogram redoslijeda ulazka pojedine vrste pozicije u proizvodni proces



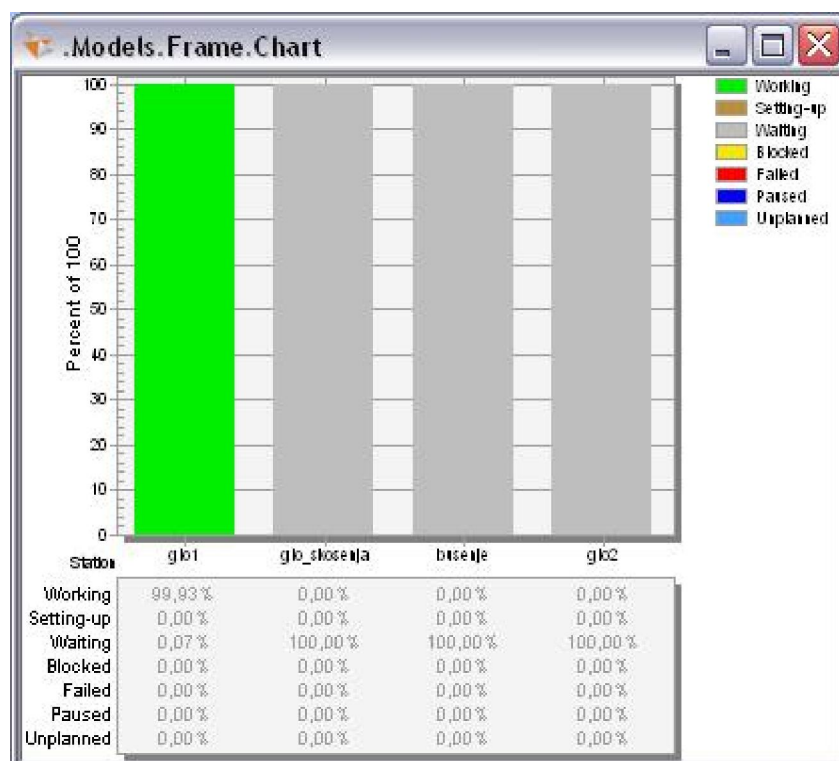
Slika 7.2. Model simulacije zadanim redoslijedom izvođene obrade

### ANALIZA ZAUZETOSTI STROJEVA

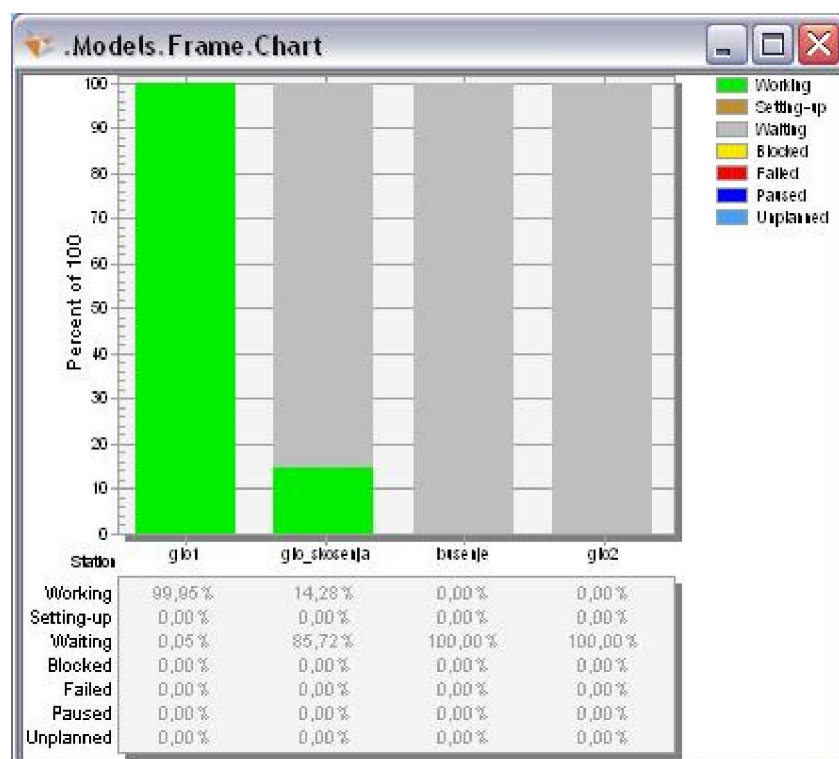
Analizirat će se zaokupljenost strojeve korištenjem modela proizvodnje sa slike 7.2. Za analizu će se koristiti grafovi koji će pokazivati zauzetost pojedinog stroja dok se obrađuje određena pozicija. Na kraju će biti prikazan graf zauzetost strojeva u trajanju proizvodnje cijele narudžbe. Grafovi pokazuju vremena dok su strojevi zaokupljeni, dok čekaju poziciju i vrijeme zastoja jer je sljedeći stroj zauzet.



Slika 7.3. Graf zaokupljenosti strojeva u vrijeme izrade pozicije g3

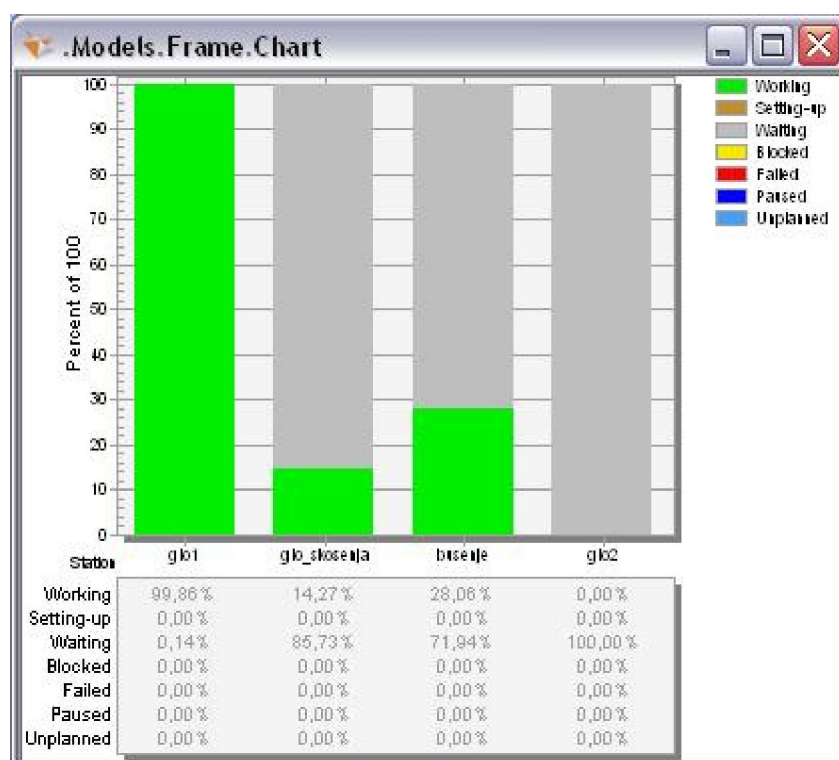


Slika 7.4. Graf zaokupljenosti strojeva u vrijeme izrade pozicije g31

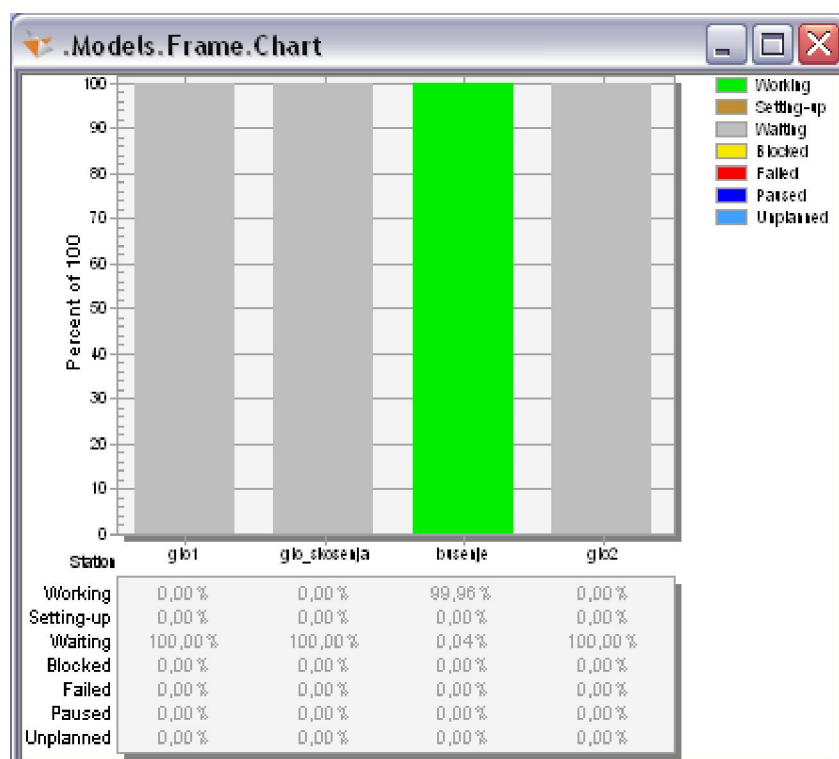


Slika 7.5. Graf zaokupljenosti strojeva u vrijeme izrade pozicije g32

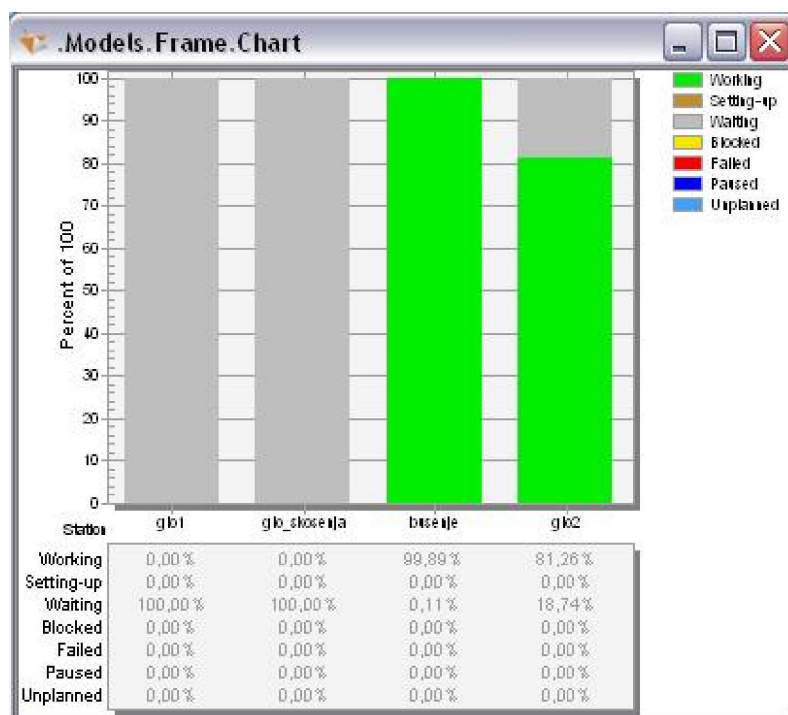




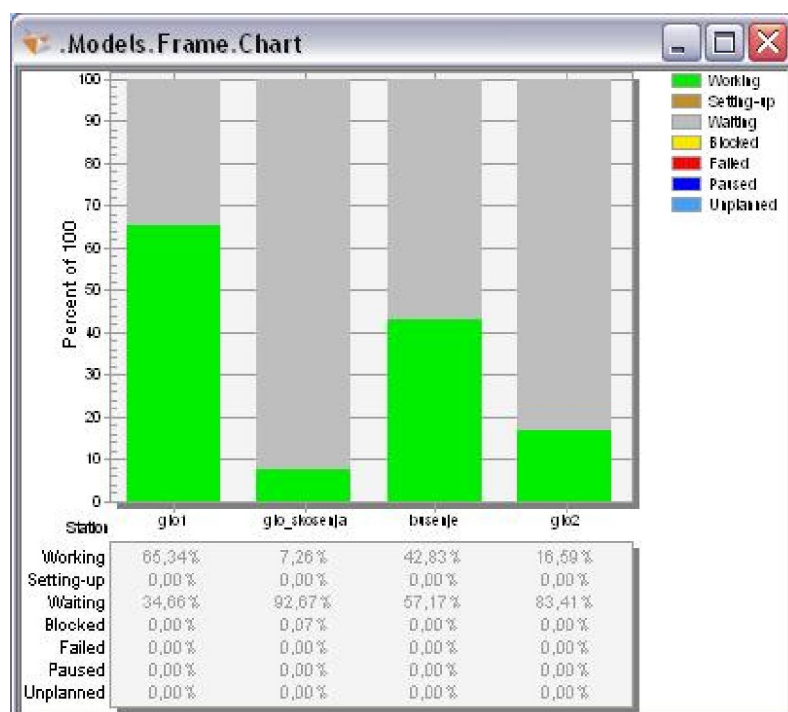
Slika 7.6. Graf zaokupljenosti strojeva u vrijeme izrade pozicije g33



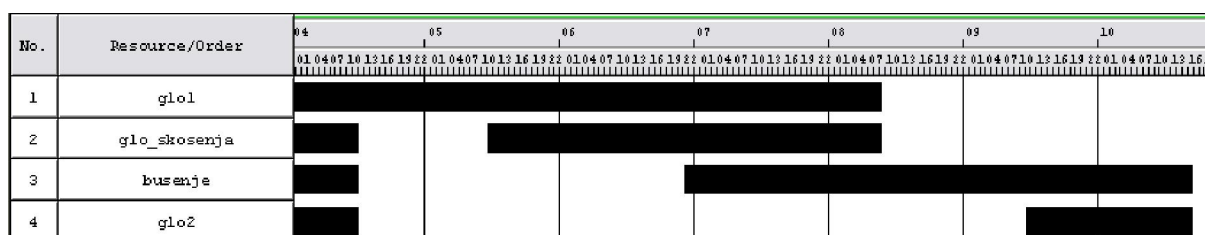
Slika 7.7. Graf zaokupljenosti strojeva u vrijeme izrade pozicije g34



Slika 7.8. Graf zaokupljenosti strojeva u vrijeme izrade pozicije g35



Slika 7.9. Graf zaokupljenosti strojeva u vrijeme izrade cijele narudžbe



Slika 7.10. Gantogram rada pojedinog stroja

Promatranjem grafova i gantograma vidi se da su pojedini strojevi u određenom periodu proizvodnje, odnosno dok se obrađuje određena vrsta pozicije, cijelo vrijeme zauzeti. U isto vrijeme ostatak stojeva je slabo zauzet ili uopće nije potreban pri izradi pozicije. Gantogram i poslijednji graf, odnosno graf koji pokazuje zauzetost strojeva tijekom izrade cijele narudžbe, pokazuju da niti jedan stroj nije opterećen cijelo vrijeme dok traje proizvodnja.

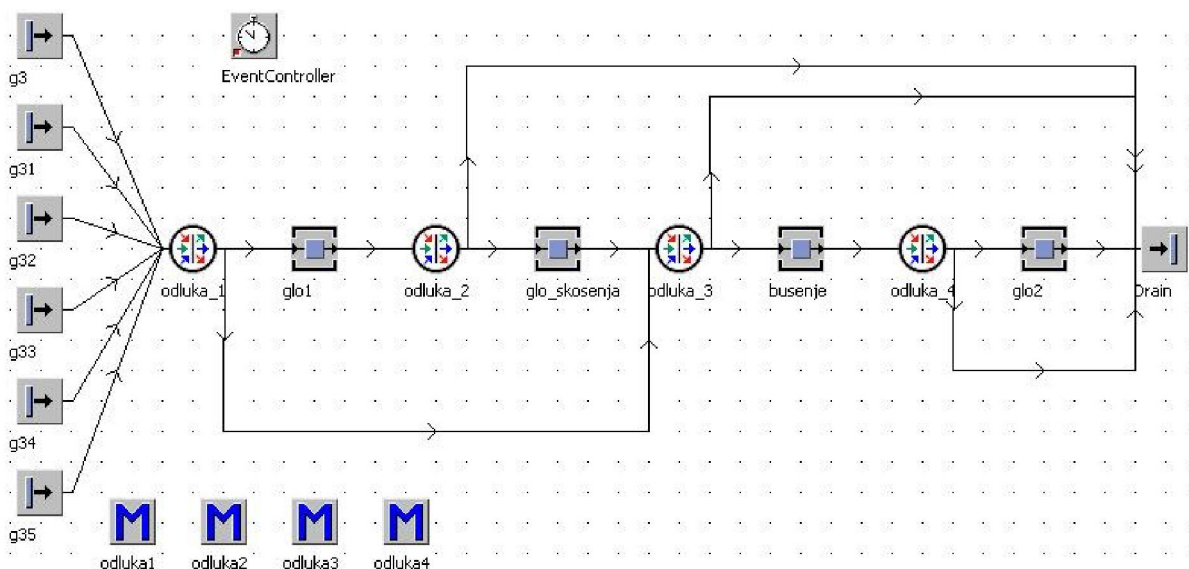
| Object     | Portion | Count | Sum             |
|------------|---------|-------|-----------------|
| izlazno_sk | 100.00% | 2600  | 6:16:41:52.0000 |

Slika 7.11. Ukupno vrijeme simulacije i ukupni broj obrađenih pozicija

Sa slike 7.11. vidi se da je vrijeme potrebno za izradu narudžbe na ovaj način 160 sati i 42 minute.

### 7.1.2. DRUGI NAČIN PROIZVODNJE

Kreira se simulacija u kojoj će pozicije biti uvođene u proizvodnju jedna po jedna od svake vrste. Znači, najprije će u proizvodnju ući pozicija g3, zatim g31, itd. Međutim, ako je u pozicija q3 već u proizvodnji i okupira prvi stroj na kojem se vrši operacija glodanje1, onda u proces stavljamo pozicije g34 ili g35 kojima nije potrebna ta obrada. Čim se oslobodi prvi stroj na kojem se izvodi operacija glodanje1 na njega dolazi sljedeća pozicija g31. Na taj stroj neće dva puta za redom doći ista pozicija, osim ako su sve druge pozicije kojima je potrebna ta operacija već obrađene jer ih je manje u narudžbi.

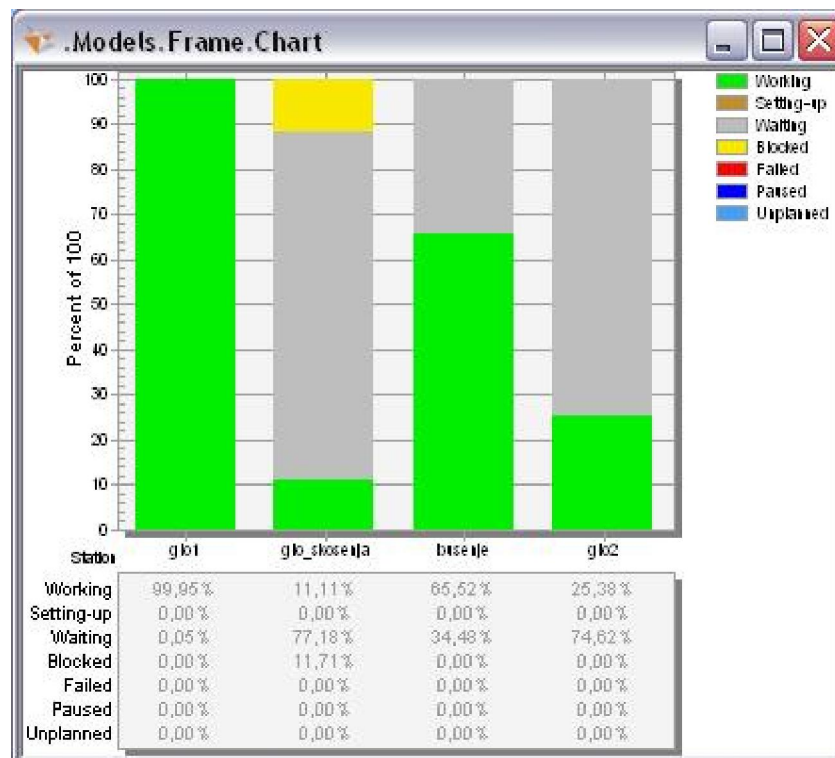


Slika 7.12. Model simulacije ciklusnim redoslijedom izvođene obrade

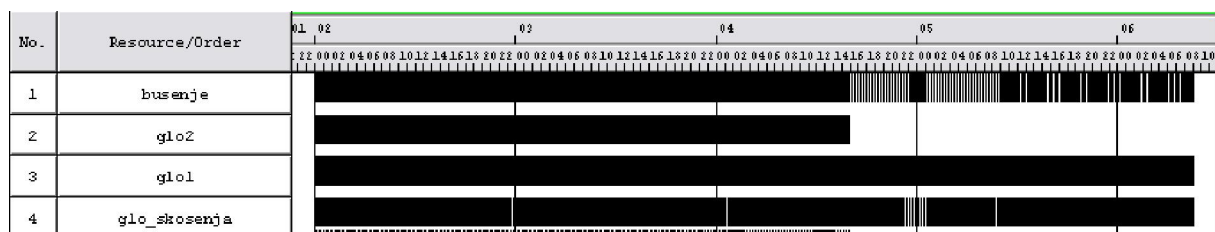
### ANALIZA ZAOKUPLJENOSTI STROJEVA

Analizirat će se zaokupljenost strojeve korištenjem ovog modela proizvodnje. Ovdje je prikazan samo graf zauzetosti strojeva u trajanju proizvodnje cijele narudžbe. Grafovi pokazuju vremena dok su strojevi zaokupljeni, dok čekaju poziciju i vrijeme zastoja jer je sljedeći stroj zauzet.





Slika 7.13. Graf zaokupljenosti strojeva u vrijeme izrade cijele narudžbe



Slika 7.14. Gantogram rada pojedinog stroja

Promatranjem gantogram i grafa vidi se da je stroj na kojem se odvija operacija glodanje 1 maskimalno zauzet. Vidi se i da je stroj na kojem se izvodi operacija glodanja skošenja dio vremena u zastoju, tj. da stroj na kojem se odvija operacija bušenja zauzet i nije uvijek slobodan da započne obradu s pozicije stroja glodanja skošenja.

| Object | Portion | Count | Sum             |
|--------|---------|-------|-----------------|
| Drain  | 100.00% | 2595  | 4:09:02:58.0000 |

Slika 7.15. Ukupno vrijeme simulacije i ukupni broj obrađenih pozicija

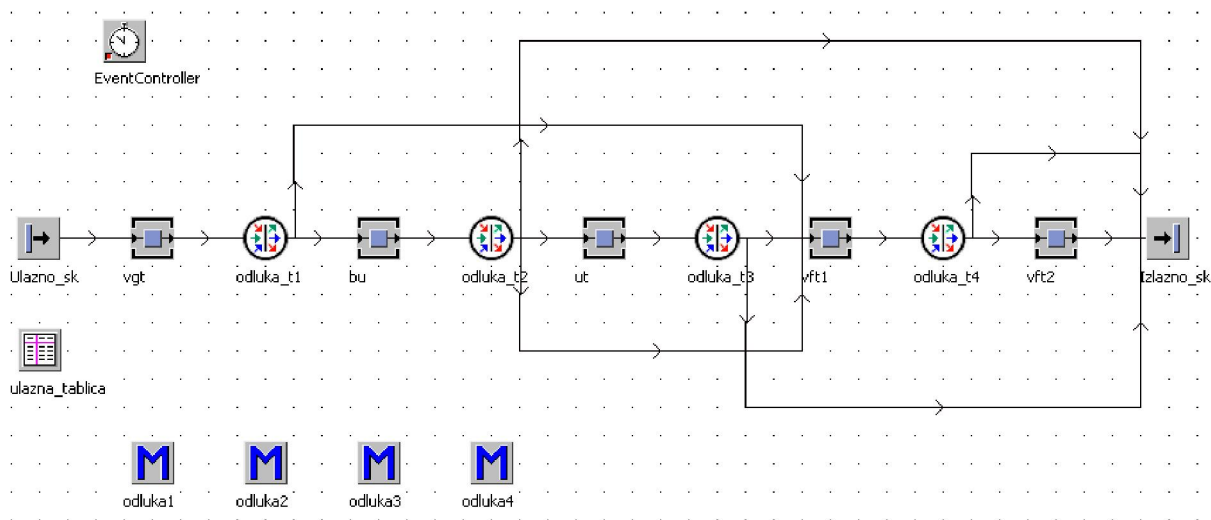
Sa slike 7.15. vidi se da je vrijeme potrebno za izradu narudžbe na ovaj način 105 sati i 3 minute.

### 7.1.3. USPOREDBA OVA DVA NAČINA ORGANIZACIJE PROIZVODNJE

Prvim je načinom ova količina obrađena u 160 sati, dok je drugim načinom obrađena za 105 sati. To pokazuje će posao primjenom drugog načina ušteda vremena biti 34%, što je puno prihvatljivija varijanta, makar je nešto kompliciranija. Očito je da su resursi bolje iskorišteni proizvodnjom na drugi način.

## 7.2. USKO GRLO

Općenito usko grlo nekog procesa predstavlja dio procesa za čije je obavljanje potrebno više vremena nego za ostale procese. Proces može imati više uskih grla. U proizvodnji, odnosno tehnološkom procesu, usko grlo predstavlja element koji uzrokuje zastoje ili čekanja na drugom elementu. Kao podloge za rješavanje ovog problema koristit ćemo grupu tokarenje 1.



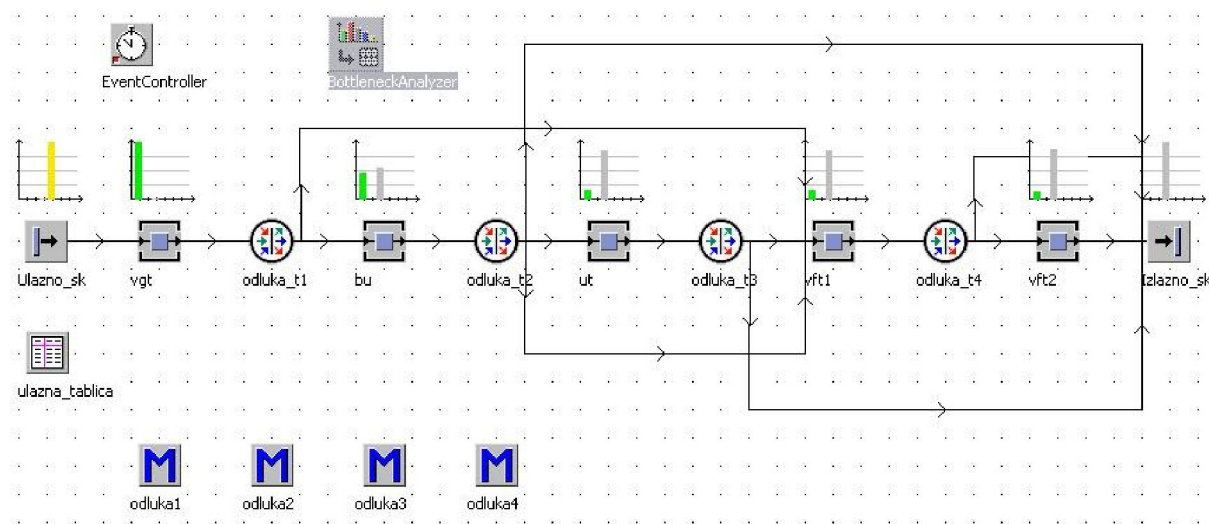
Slika 7.16. Model simulacije koji će nam poslužiti za primjer uskog grla

Najprije će se u simulaciju ubaciti objekt BottleneckAnalyzer. BottleneckAnalyzer je objekt koji kreira grafove zauzetosti svakog objekta koji je u kontaktu s pozicijama.



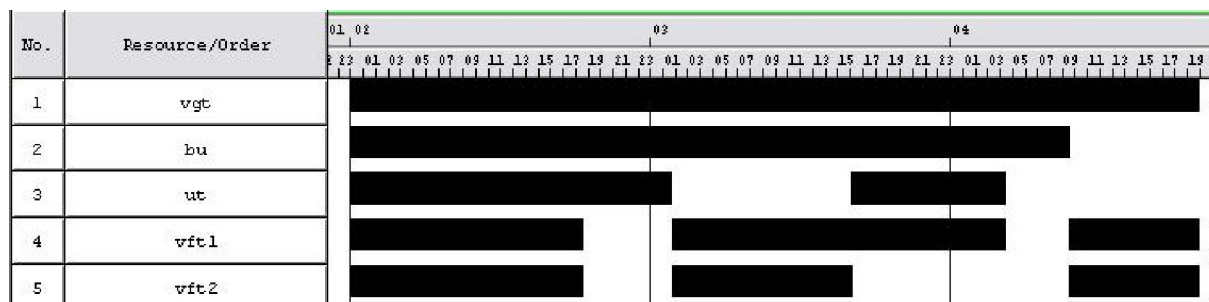
Slika 7.17. BottleneckAnalyzer

Pokreće se simulacija, te nakon što je simulacija gotova pokreće se objekt BottleneckAnalyzer. On nam daje podatke u obliku malih grafova pored svakog objekta po kojem prolaze obradci. Grafovi na slici 7.18. pokazuju postotak zastoja na stroju (žuta boja), postotak rada stroja (zelen boja), postotak čekanja (siva boja).



Slika 7.18. Primjena objekta BottleneckAnalyzer

Sa slike 7.18. vidi se da je na grafu ulaznog skladišta visok stupac žute boje, to znači da je blokirano. To je zato jer skladište nije definirano nikakvo vrijeme njegovog rada, već se direktno iz njega proizvodi mogu proslijediti na stroj za vanjko grubo tokarenje (vgt). Zato taj žuti stupac u ovome slučaju nije bitan. Primjećuje se da je na grafu stroja vanjskog grubog tokarenja (vgt) samo stupac zelene boje. To znači da je stroj za vanjsko grubo tokarenje cijelo vrijeme proizvodnje u radu. Vidi se da su na grafu stroja za bušenje (bu) zeleni i sivi stupac podjednaki, što nam govori da stroj za bušenje pola svoga vremena čeka na obradak sa stroja za vanjsko grubo tokarenje. Dakle, da se zaključiti da je u ovom slučaju stroj za vanjsko grubo tokarenje usko grlo proizvodnog procesa.



Slika 7.19. Gantogram pokazuje okupiranost pojedinog stroja u zadanom vremenu

Sa statističkog lista uzimaju se podaci o količini pojedinih pozicija koje smo definirali i o vremenu trajanja modela simulacije.

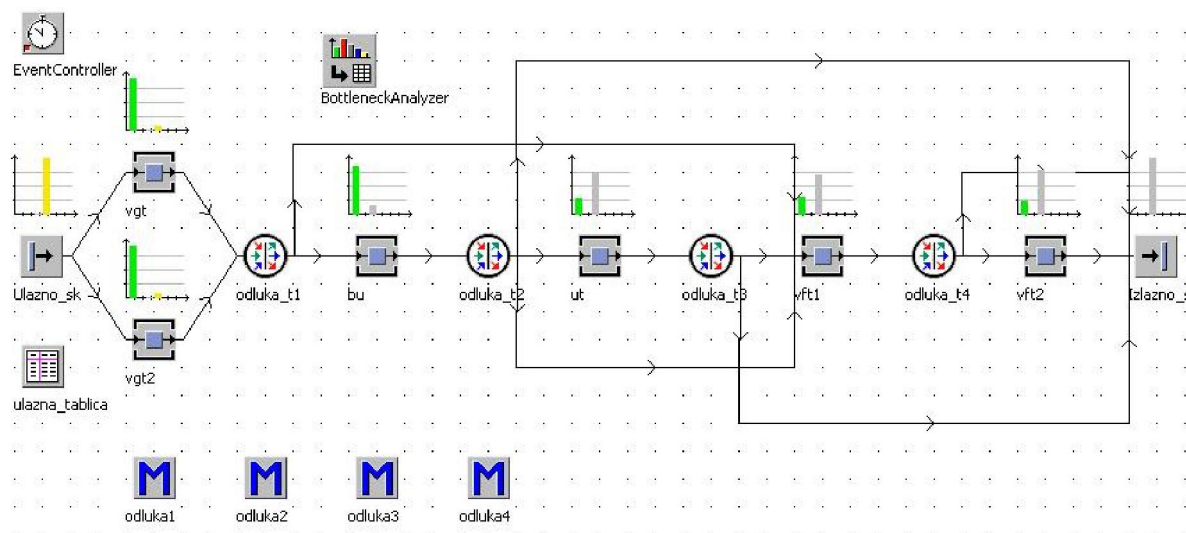
| Object     | All Types | t1   | t11 | t12  | t13  | t14 | t15  |
|------------|-----------|------|-----|------|------|-----|------|
| Izlazno_sk | 6600      | 1800 | 700 | 1400 | 1200 | 500 | 1000 |

Slika 7.20. Ukupna količina pozicija i količina pojedine pozicije

| Object     | Portion | Count | Sum             |
|------------|---------|-------|-----------------|
| Izlazno_sk | 100.00% | 6600  | 2:19:50:14.0000 |

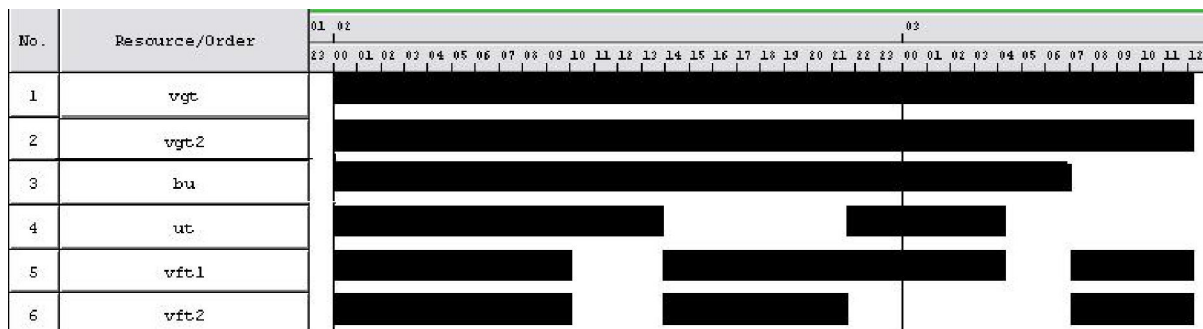
Slika 7.21. Vrijeme trajanja modela simulacije

Sa slike 7.21. vidi se da je simulacija trajala 67 sati i 50 minuta. Problem uskog grla probat će se riješiti paralelnim dodavanjem istog stroja za vanjsko grubo glodanje u model simulacije.



Slika 7.22. Model simulacije s dva vgt stroja i BottleneckAnalyzer

Na slici 7.22. vidi se da su strojevi vgt i vgt2 veći dio svoga vremena u radu, dok su manji dio u zastoju. Vidi se da je sada stroj za bušenje veći dio svoga vremena u radu, dok se vrijeme čekanja znatno smanjilo. Uzrok toga što su strojevi vgt i vgt2 jedno vrijeme u zastoju (stupac žute boje) je preopterećenje stoja za bušenje za vrijeme proizvodnje određene skupine pozicija, a uzrok toga što stroj za bušenje jedno vrijeme čeka (stupac sive boje) je period kada se obrađuju pozicije za koje nije potrebna operacija bušenja.



Slika 7.23. Gantogram sa dva stroja za vanjsko grubo tokarenje

Sa statističkog lista uzimaju se podaci o količini pojedinih pozicija koje su zadane, i podaci o vremenu trajanja modela simulacije.

| Object     | All Types | t1   | t11 | t12  | t13  | t14 | t15  |
|------------|-----------|------|-----|------|------|-----|------|
| Izlazno_sk | 6600      | 1800 | 700 | 1400 | 1200 | 500 | 1000 |

Slika 7.24. Ukupna količina pozicija i količina pojedine pozicije

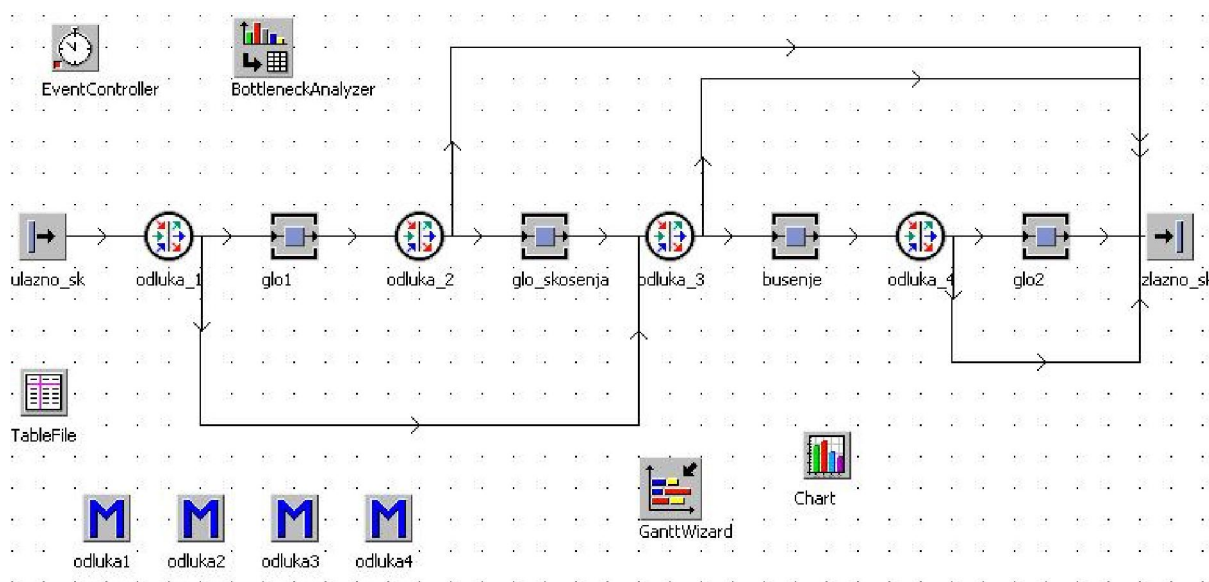
| Object     | Portion Count | Sum                  |
|------------|---------------|----------------------|
| Izlazno_sk | 100.00%       | 6600 1:12:15:31.0000 |

Slika 7.25. Vrijeme trajanja modela simulacije

Sa slike 7.25. vidi se da je simulacija trajala 36 sati i 16 minuta. Jasno je da uvođenje još jednog stroja za vanjsko grubo tokarenje uvelike smanjuje trajanje proizvodnje. Vrijeme trajanja proizvodnje ove narudžbe je smanjeno za više od pedeset posto.

### 7.3. SIMULACIJA KVARA

U ovome primjeru je pokazano kako kvarovi utječu na proizvodnju. Recimo da se preuzela pošiljku koju se treba obraditi za 12 dana, pretpostavlja se da se radi u jednoj smjeni (8 sati). Pošiljka se sastoji od šest vrsta različitih izradaka, različitih količina. Za simulaciju tih izradaka poslužit ćemo se jedom od kreiranih grupa. Koristit će se grupa glodanje 3. Pozicije iz pošiljke će u obradu dolazaiti zadanim redoslijedom. Dostupnost (Avaliability) svih strojeva koji su nam na raspolaganju je 75%, a srednje vrijeme za popravak kvara 15 minuta(MTTR – Mid Time To Repair).

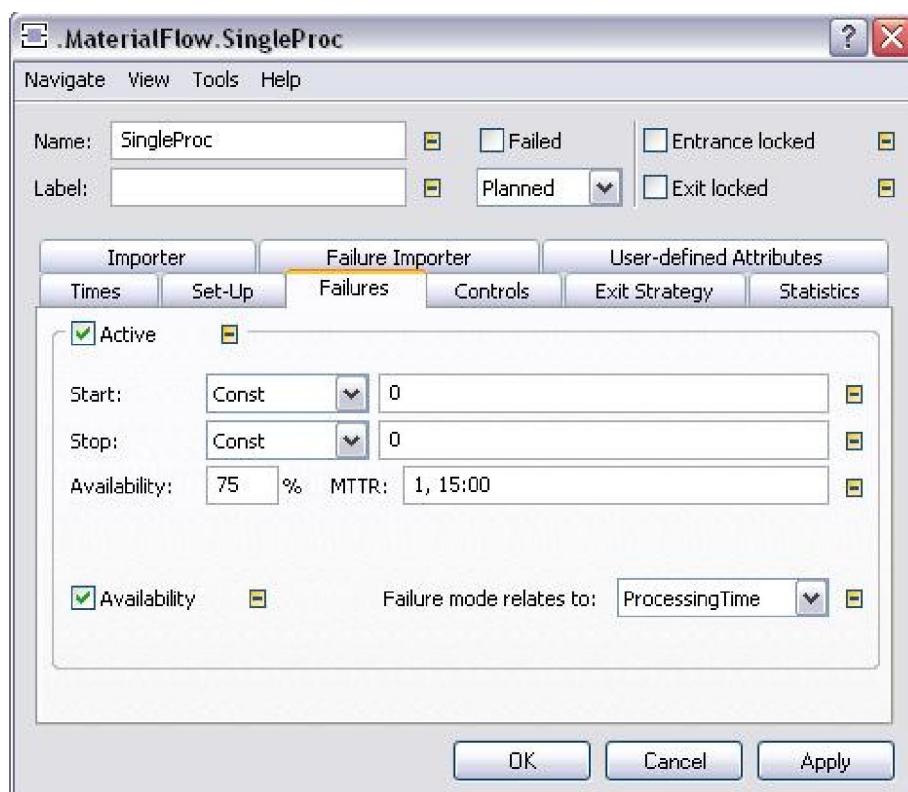


Slika7.25. Model simulacije za primjer utjecaja kvara

| .Models.Frame.TableFile                   |               |             |              |             |            |
|---|---------------|-------------|--------------|-------------|------------|
| File Edit Format Navigate View Tools Help |               |             |              |             |            |
| 0.0000                                    |               |             |              |             |            |
|   | time<br>1     | object<br>2 | integer<br>3 | string<br>4 | table<br>5 |
| string                                    | Delivery Time | MU          | Number       | Name        | Attribute  |
| 1   | 0.0000        | .MUs.g3     | 100          |             |            |
| 2   | 0.0000        | .MUs.g31    | 200          |             |            |
| 3   | 0.0000        | .MUs.g32    | 150          |             |            |
| 4   | 0.0000        | .MUs.g33    | 150          |             |            |
| 5   | 0.0000        | .MUs.g34    | 150          |             |            |
| 6   | 0.0000        | .MUs.g35    | 200          |             |            |
| 7   |               |             |              |             |            |
| 8   |               |             |              |             |            |
| 9   |               |             |              |             |            |

Slika 7.26. Tablica redoslijeda obrade vrste pozicija i zadane količine pozicija





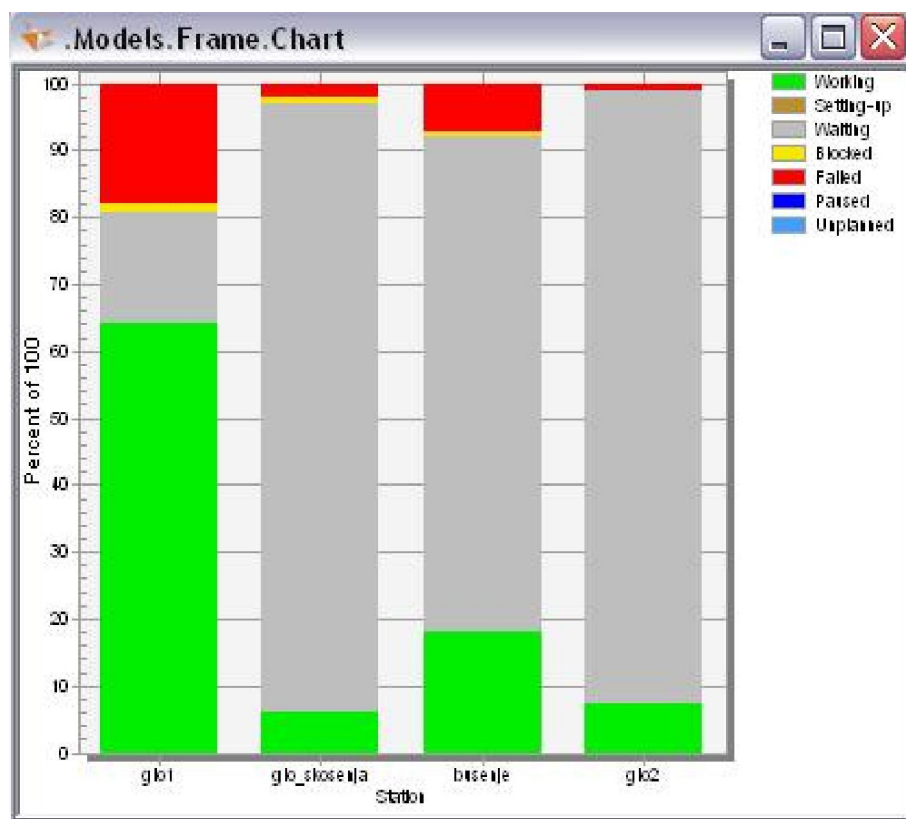
Slika 7.27. Dostupnost i MTTR definirano je jednako za sve strojeve

Najprije će se pokrenuti model simulacije da vidimo u dali je moguće odraditi posao na vrijeme. Koriste se zadane postavke za dostupnost strojeva i srednje vrijeme popravka kvara koje su jednake kod svih strojeva. Nakon simulacije će aw provjeriti vrijeme njenog trajanja i vidjeti da li je moguće prihvatiti posao. Pomoću grafova i gantograma pratiti se opterećenje strojeva.

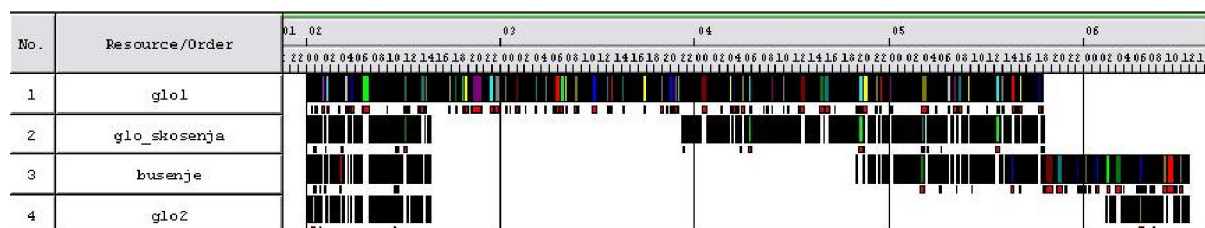
| Object     | Portion | Count | Sum             |
|------------|---------|-------|-----------------|
| izlazno_sk | 100.00% | 950   | 4:13:06:27.8626 |

Slika 7.28. Vrijem trajanja simulacije

Iz slike 7.28 vidi se da je simulacija trajala 109 sati i 6 minuta. Znači, potrebno je gotovo 14 dana da bi posao bio obavljen. Sada će se analizirati proizvodni proces, da bi se uočilo problem kapaciteta.



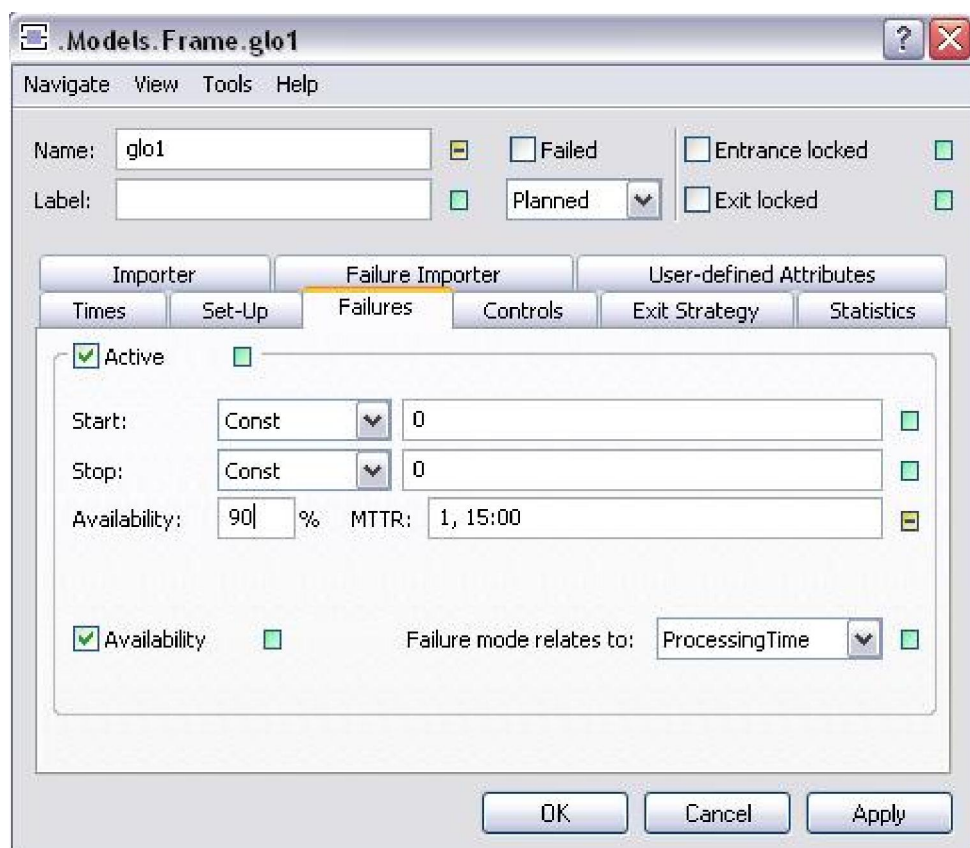
Slika 7.29. Graf stanja strojeva



Slika 7.30. Gantogram

Iz grafa sa slike 7.29. i grantograma sa slike 7.30. vidi se da je stroj za glodanje 1 najviše opterećen i da radi najveći dio vremena, a da su ostali strojevi veći dio vremena u zastoju jer čekaju da se obavi operacija na tom stroju. Zaključuje se da je stroj za glodanje 1 usko grlo u procesu. Iz grafa se također vidi da je stroj za glodanje 1 najveći dio vremena u kvaru. To znači da bi trebalo razmotriti mogućnost povećanja dostupnosti toga stroja. Povećanje dostupnosti stroja moguće je rekonstrukcijom, modernizacijom, promjenom alata, ugradnjom sklopova i dijelova koji imaju veću pouzdanost, itd.

Recimo da se neđe rješenje kako povećati dostupnost i da sada ona iznosi 90%. Znači, dostupnost stroja za glodanje 1 sada iznosi 90% i da je srednje vrijeme za otklanjanje kvara ostalo 15 minuta. Dostupnost i MTTR ostalih strojeva se ne mijenjaju.



Slika 7.31. Dostupnost stroja za glodanje stavljamo na 90%

Pokreće se model simulacije sa zadanim postavkama. Nakon simuliranja zadanog modela promatra se vrijeme trajanja simulacije.

| Object     | Portion | Count | Sum             |
|------------|---------|-------|-----------------|
| izlazno_sk | 100.00% | 950   | 3:20:44:50.6959 |

Slika 7.32. Vrijeme trajanja simulacije sa novim postavkama

Na slici 7.32. vidi se da je simulacija trajala 92 sata i 45 minuta. To znači da će posao biti obavljen za 11 dana i 5 sati. Jasno je da će s tim vremenom poduzeće prihvatiti posao jer se zna da će posao biti obavljen na vrijeme.



## 8. ZAKLJUČAK

U ovom završnom radu su prikazane osnove grupne tehnologije. Pokazano je kako efikasnost proizvodnoga sustava bitno ovisi o njegovoj prostornoj strukturi, jer ona izravno određuje sustav toka materijala koji se pak odražava na upravljivost proizvodnje, cikluse proizvodnje i iskorištenje sredstava za proizvodnju.

Prikazana je razrada definiranih 3D izradaka. Kreirane su grupe proizvoda, te su iz tih grupa odabrani reprezentanti. Pokazano je da reprezentanti grupa imaju osobine svih pozicija koje se nalaze u grupi.

U sljedećem poglavlju objašnjene su osnove CAM koncepta. Računalom potpomognuta proizvodnja je programski alat koji omogućuje proizvodnju fizičkih modela pomoću programa za računalom potpomognuto konstruiranje (CAD). CAM stvara stvarne verzije komponenti osmišljene unutar programskog paketa.

Razrađena su vremena izrade pojedine pozicije u svakoj od definiranih grupa proizvoda. U CAM programu su definirani svi parametri za izvođenje operacija, odabrani su alati, te su određeni režimi rada. Za svaku poziciju definirane su potrebne operacije i dato je vrijeme trajanje svake, kao i ukupno tehnološko vrijeme potrebno da bi se obradila svaka pozicija.

Kao glavni dio rada shvaćen je prikaz primjene Plant Simulation softvera u proizvodnji. Najprije je objašnjeno kako je kreiran osnovni model simulacija koji je dalje korišten. To objašnjenje može koristiti kao pomoć novim korisnicima softvera pri izradi modela simulacija.

Plant Simulation poslužio je za simulaciju različitih scenarija iz prakse. Prikazano je kako supomoću softvera analizirani i riješeni neki od stvarnih problema koji se javljaju u proizvodnji. Iz primjera je jasno vidljivo koliko je provedba analiza jednostavna, te kako je lako uočiti problem.

## 9. LITERATURA

- [1] **B. VRANJEŠ**, predavanja s kolegija „Projektiranje proizvodnih sustava“, FSB, Zagreb 2009.
- [2] **T. UDILJAK**, predavanja s kolegija „Proizvodnja podržana računalom“, FSB, Zagreb, 2008.
- [3] **D. MEDVED, N. BARILAR**, Priručnik za eM-Plant-Projekt, FSB, Zagreb, 2009.